BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ELECTRÓNICA

DISEÑO DE UN SISTEMA DE AYUDA PARA PACIENTES CON PARKINSON

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE:

INGENIERO EN SISTEMAS AUTOMOTRICES

PRESENTA:

JOSÉ CARLOS SARMIENTO SÁNCHEZ

DIRECTORA DE TESIS: DRA. ANA LUZ MUÑOZ ZURITA (FCE-BUAP).

ASESORES DE TESIS:

DR. KARIM MONFIL LEYVA (CIDS-BUAP).

DR. GUILLERMO MUÑOZ ZURITA (FMED-BUAP).

H. PUEBLA DE ZARAGOZA, MAYO DE 2023

Contenido

Dedicatoria 4
Agradecimientos 5
Resumen 6
Introducción 7
Objetivos 8
Objetivo General 8
Objetivos específicos 8
Justificación 9
Teoría 10
Marco Teórico 10
Marco referencial 12
Marco conceptual 15
Capítulo 1: Antecedentes del Parkinson 17
1.1 Estadíos del Parkinson 18
1.2 Edades del Parkinson 20
Capítulo 2: Biofísica de la contracción muscular 22
2.1 Energética muscular 22
2.2 Mecánica de la contracción en el músculo esquelético 27
2.3 Tipo de contracción 28
2.4 Respuesta del músculo a un estímulo 29
2.5 Relación Fuerza-Longitud 31
Capítulo 3: Sistemas de ayuda en el Parkinson 34
3.1 Acercamiento al Parkinson 34
3.2 Estimulación Cerebral Profunda 39
3.2.1 Funcionamiento 40
3.2.2 Ventajas 40
3.2.3 Riesgos 40
3.3 Supresión de temblores en los miembros superiores 41
3.4 Órtesis 41
3.4.1 WOTAS 41
3.5 No invasivos y con estimulación eléctrica o muscular 42
3.5.1 Cala Trio 42

3.5.2 Emma Watch 43
3.6 No invasivos sin inmovilización de la extremidad 44
3.6.1 Arc Pen 44
3.6.2 Liftware 44
3.6.3 GyroGlove 45
3.6.3.1 Desventajas 45
3.7 No invasivos, pero con inmovilización de la extremidad 46
3.7.1 TE100 46
3.8 Autonomía vehicular 47
3.9 Impacto del dispositivo en la conducción 49
Capítulo 4: Diseño de la propuesta para el sistema de ayuda análisis y resultados 50
4.1 Condiciones para medición de temblores 50
4.2 Análisis de los temblores 51
4.2 Diseño del modelo de mano 53
4.3 Diseño de la pulsera y elección del material de sujeción para el dispositivo 55
4.4 Diseño del dispositivo compensador de temblores 58
4.5 Nivel de madurez tecnológica 62
4.6 Análisis de movimiento de la mano 65
4.7 Análisis de movimiento del dispositivo activado 69
4.7.1 A 1,000 rpm 69
4.7.2 A 3,500 rpm 75
4.7.3 A 6,500 rpm 78
4.7.4 8,000 rpm 81
Aumento en el tiempo de simulación 86
6,500 rpm a 20 segundos de simulación 86
8,000 rpm a 20 segundos de simulación 88
Conclusiones 92
Anexo A 96
Bibliografía 105
Índice/tablas/imágenes 111

Dedicatoria

Esta tesis es para mi mamá y mi papá que me han apoyado de todas las formas que existen más las que han descubierto, a mi abuelos, hermana y familia que me impulsaron y me han socorrido con su compañía y amor. Esta investigación está hecha con el apoyo incondicional que todas las personas que amo me han dado además de la dedicación, voluntad, coraje, determinación y compromiso que he desarrollo y ahora es parte de mí.

Agradecimientos

Doctora Ana Luz Muñoz Zurita, gracias a su constante guía, esfuerzo y dedicación que me ha acompañado durante toda la tesis y que con su inconmensurable apoyo esta tesis ve su cúspide y también, yo, uno de sus alumnos, convertirse en ingeniero. Gracias a la doctora que siempre estuvo atenta, dispuesta a escucharme y con la misma sonrisa y entusiasmo en cada reunión que me llenaba de fuerzas para seguir adelante, a no detenerme a continuar avanzando.

A los doctores Karim Monfil Leyva y Guillermo Muñoz Zurita que siempre conté con su apoyo y constantes consejos y retroalimentación para la tesis. Agradezco también a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla por ser mi alma máter y a los docentes que compartí años de vida y estudio en las aulas, y que a su vez al conocerlos he tenido la oportunidad para crecer profesionalmente y como persona.

A mi mamá y papá que estuvieron siempre apoyándome, nunca me dejaron solo y con su ayuda concluyo mis estudios. Gracias por creer en mí. Mi familia que siempre me han mostrado su cercanía y apoyo. Mis amigos incontables me escucharon y me dieron más ánimos para seguir escribiendo y avanzando.

Resumen

El Parkinson es una enfermedad degenerativa del sistema nervioso, las personas que lo padecen pueden experimentar varios síntomas, como rigidez en la marcha, inexpresividad en el rostro y temblores en las piernas, brazos o manos.

Estas afecciones pueden llegar a ser limitantes y reducir la autonomía de quien lo padece, incluso complicar actividades sencillas como sostener un vaso, vestirse, caminar o escribir, para tareas más complejas como conducir un automóvil, se dificulta muchísimo más.

Para mejorar la calidad de vida de quienes sufren Parkinson, se diseñó un dispositivo que aumente la autonomía y movilidad del paciente el cual está enfocado para quienes son conductores de automóviles, ya sea como actividad lucrativa o como apoyo en el hogar, estas personas tienen dificultades para conducir debido a que un síntoma de la enfermedad es el temblor en las manos, esto impacta directamente la conducción al modificar el curso del vehículo además de que puede poner en riesgo la integridad del usuario y de otros automovilistas e incluso a los peatones que estén cerca, así que el dispositivo funcionará como un compensador que amortiguará esos movimientos de forma cómoda, además de que será ligero, accesible y fácil de usar. Otra ventaja para mencionar es que los dispositivos actuales son muy costosos y su producción está fuera del país, lo que aumenta su precio.

Este nuevo dispositivo es un sistema compensador de temblores de la mano que permitirá que el usuario no tenga dificultades al momento de utilizar el volante, además de que, incrementará el bienestar, la seguridad y será una alternativa accesible y barata. El funcionamiento del dispositivo consiste en reducir los picos de amplitud de las oscilaciones de los temblores a través de la inercia rotacional de un disco que girará sobre sí mismo. El lugar donde estará ubicado el sistema será en la muñeca porque ocupa un menor espacio, permite mayor movilidad, mantendrá su peso bajo y será discreto.

Para la fase de diseño, se utilizó el software Matlab en el cual se recrearon las curvas de comportamiento de la mano durante un temblor, después con el software SolidWorks se diseñó un bio-modelo de una mano para estudiar su movimiento con y sin el dispositivo acoplado, tras ello, se analizaron los resultados en los cuales los temblores fueron reducidos en mayor medida, los datos sobre las amplitudes de los temblores, sus curvas características y el contenido espectral serán consultados de investigaciones y artículos sobre mediciones de temblores de la mano durante el Parkinson.

Introducción

En México una de las enfermedades que están presentes en la tercera edad o que incluso aparecen antes, es el Parkinson, tiene muchos síntomas y afecciones, uno que es bastante notorio y muy limitante son los temblores, estos pueden manifestarse en las manos o piernas, lo que provoca que el paciente tenga dificultades para realizar sus actividades diarias, incluso las más sencillas. Según el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS): "La enfermedad de Parkinson es la primera causa de atención neurológica y de discapacidad en el mundo en personas mayores de 55 años". En el IMSS están registrados al menos 300 mil pacientes con esta enfermedad [1].

Abordando el temblor de las manos, este tiene cualidades como que se presenta en una sola mano, ocurre mayormente durante el reposo y tiende a disminuir su amplitud conforme aumenta el movimiento voluntario.

El avance del Parkinson puede verse afectado por muchos factores, algunos lo aceleran y otros pueden ralentizarlo. Si el paciente se encuentra en un entorno hostil, deprimente o que de pronto, la enfermedad le impida realizar sus tareas diarias o definitivamente lo inmovilice o afecte sus relaciones, el trastorno puede desarrollarse con más rapidez y empeorar.

Actividades como conducir un vehículo, caminar, andar en bicicleta o motocicleta resultan peligrosas tanto para el usuario como para quienes compartan el espacio o vialidad. Es así como el Parkinson también afecta a la capacidad del paciente para desplazarse.

Actualmente existen varios dispositivos que abordan ya sea el problema de los temblores en las manos o las posibles caídas al caminar, como lo son el Emma Watch [2], Gyroglove [3] o Liftware [4] que compensan los temblores para realizar ciertas actividades o aumentar la autonomía de los usuarios, sin embargo, algunos aún están en fase de desarrollo, su precio es elevado y su distribución es fuera de México. El presupuesto para ser acreedor de estos dispositivos puede llegar a ser bastante alto, lo que acorta la adquisición de esta tecnología y una posible mejora en la calidad de vida del paciente.

Abordando la actividad de conducir un vehículo, el principal cambio de un conductor sano a uno con Parkinson que presente temblores en la mano, ocurre al momento de manipular el volante del auto puesto que se estará cambiando constantemente el rumbo del auto, a grandes velocidades, resulta contraproducente, puesto que las alteraciones en el curso harían que el automóvil perdiera el control, que se impactara con otro auto o que se saliera de la carretera.

Objetivos

Objetivo General

- Diseñar un sistema de ayuda para pacientes con Parkinson en etapas tempranas que, por medio de la inercia rotacional, compense los temblores de las manos al momento de conducir un coche a velocidades moderadas.

Objetivos específicos

1. Investigar y comprender el funcionamiento de los diferentes tipos de sistemas compensadores de temblores de la mano por Parkinson que existen.
2. Comparar y evaluar los modelos que existen para ofrecer una mejora en el precio y en las debilidades que pudieran presentar dichos modelos.
3. Diseñar y simular un sistema reductor de temblores de la mano a través de la conservación de la inercia de un disco giratorio.
4. Analizar y establecer las condiciones para un funcionamiento óptimo del sistema y que permita la mayor reducción de los temblores.

Justificación

Recibir un diagnóstico de una enfermedad neurodegenerativa a cualquier edad es un evento que altera en gran medida al paciente y por ende a su estilo de vida. Para el Parkinson, los primeros síntomas se manifiestan principalmente en el sistema locomotor [5]. Estas pueden modificar en gran medida las actividades del paciente, como lo es caminar, lo cual puede desencadenarse en una tendencia a las caídas. Ante esta situación, una alternativa para mejorar su movilidad y evitar caídas es el uso de un vehículo, ya sea como conductor o pasajero. Para otros conducir es su principal fuente de ingresos siendo chófer o transportista y con la llegada del Parkinson, conforme pase el tiempo, se verán obligados a cambiar a otro trabajo.

Actualmente no existen dispositivos no invasivos capaces de ayudar a conductores que sufren de Parkinson para suprimir o ignorar el efecto de los temblores de las manos en la posición del volante de un automóvil. Esto puede directamente al curso del vehículo al no ser capaz el conductor de controlar las discinesias.

A pesar de que el desarrollo de la industria automotriz apunta y se acerca cada vez más a la materialización del vehículo autónomo, este hito solo puede ser accesible para un sector pequeño de la población que tenga el poder adquisitivo de un automóvil de ese tipo.

Por lo anterior mencionado, es imperante el diseño de un dispositivo que mejore la calidad de vida de las personas que se dedican al transporte, como una nueva opción para estar tras el volante y que a su vez aumente la capacidad de desplazamiento del paciente.

El diseño de un compensador de temblores de Parkinson consiste en un dispositivo pequeño y ligero capaz de acoplarse a una pulsera que proporcionará confort y facilidad de uso. La mejora en la precisión de la conducción será proporcionada gracias a la inercia rotacional generada por un giroscopio dentro del dispositivo que reducirá la amplitud de los temblores

El uso del dispositivo mejorará la precisión en la conducción y la sujeción al volante, proporcionando al conductor mayor confianza y seguridad. Además, ante la presencia de un temblor como posible antesala para el diagnóstico de Parkinson, el paciente tendrá mayor tiempo de permanencia como automovilista activo, tendrá la posibilidad de una opción de transporte seguro y rápido sin que implique un riesgo físico como lo es una caída. Cabe mencionar que el compensador favorecerá a aquellas personas que se dediquen al transporte de personas, material de carga o ganado como mejora a la estabilidad del curso del vehículo desde el volante sin que implique un abandono inmediato de su trabajo.

La ventaja que presenta este compensador en comparación con los sistemas de ayuda a la conducción y otros dispositivos supresores de temblores está en la accesibilidad, el peso y el costo, ya que para el primer caso, es necesario la previo planeación y adquisición de un vehículo con tecnología de asistencia al volante, mientras que, los demás compensadores, están enfocados para el desarrollo de otro tipo de actividades además del elevado costo que tienen actualmente por sus técnicas avanzadas.

Teoría

Marco Teórico

El ser humano es capaz de realizar muchas cosas gracias a su cuerpo que le permite desde escribir, cantar, dibujar, bailar o hacer deportes; en estas actividades, una parte de él tiende a sobresalir más que las otras, como las manos en la escritura o las extremidades para el baile, es así como la falta de una parte del cuerpo puede modificar la forma en la que se realizan o incluso su cancelación.

A lo largo del tiempo, la humanidad se ha enfrentado a múltiples adversidades, como su entorno, sin embargo, existe otras que pueden afectar considerablemente su desempeño, estas son las pérdidas de extremidades o amputaciones. Se tienen registros sobre amputaciones que datan hace 40 o 45,000 años a. C las cuales se realizaban con diversos propósitos desde punitivos, para rituales y terapéuticos [6].

Más adelante, durante el Renacimiento que comprende el periodo de 1400 a 1800, fue cuando se retomaron descubrimientos hechos por griegos y romanos en el área de la prostética mismo que fue de la mano con cambios en el arte, filosofía y ciencia [7].

Se puede considerar como un primer intento de evitar los temblores en la mano como la inmovilización de la extremidad y proporcionar alivio y reposo al paciente, sin embargo, esto comprometía totalmente movilidad de la mano y solo cumplía como alternativa temporal. Otras innovaciones coincidieron con el mismo método de retención, pero dando a la mano mayor margen de movimiento como la que fue diseñada por Stuart A. Rubin, Vasantha L. Murthy por el colegio de medicina de la universidad de Yeshiva [8] agregando resistencias mecánicas como contraposición a los temblores, en esta patente, la innovación consiste en un soporte flexible con un exoesqueleto de barras sólidas unidas en un extremo para tener como elemento viscoso un amortiguador acoplado en a ellas. Apartando las resistencias mecánicas, la patente publicada el 4 de mayo de 2004 había sustituido el amortiguador lineal y reducido considerablemente el tamaño de la presentada por Stuart y Yeshiva ahora como superficie rectangular sólida que serviría como base para la mano, muñeca y antebrazo y que en conjunto serían estabilizadas por un giroscopio [9].

Para el año 2014 se publicó internacionalmente una patente [10] que ahora se enfocaba solamente en la muñeca, ahora con apoyo de dos soportes los cuales estarían puestos en la mano y el antebrazo, se aprovecharía la unión en la muñeca para colocar un amortiguador rotatorio que mejoraría la respuesta y estabilidad de la mano que estaría conectada por dos barras rígidas.

Existen otros avances con diferentes sistemas de supresión o que conjugan lo antes mencionado para proveer una mayor cobertura, algunos de ellos implementan ahora sensores para monitorear constantemente biopotenciales o señales acerca del estado del cuerpo, como su posición, velocidad, ritmo cardíaco, si está durmiendo o se ha caído el usuario. Dentro de ellos, se encuentra el *DVS* (*Double Viscous Beam*) el cual utiliza la viscosidad por medio de un actuador de núcleo central que se encontraba dentro de un ambiente lleno de fluido magnetorreológico [11]. Funciona por la interacción entre pletinas y el contenedor plástico del fluido, un campo magnético sería el responsable de adecuar la viscosidad del material por medio de una bobina.

Con lo mencionado, se pueden clasificar los diferentes tipos de órtesis según el nivel de movilidad y el tipo de interacción que tiene con el cuerpo como las siguientes:

- Órtesis pasivas:
    - Inmovilizadoras: fijan la articulación en una posición que permita el uso del resto de las articulaciones para mantenerse funcional y sin comprometer la salud del usuario.
    - Restricción del rango articular: si la lesión limita el rango articular, entonces se usa una órtesis de este tipo para reforzar las posibilidades funcionales y evitar la atrofia muscular.
- Órtesis activas:
    - Estáticas: aplican una carga constante sobre la articulación ante la presencia de una actividad anormal del músculo que debe corregirse.
    - Dinámicas: asisten a las personas con debilidad muscular a moverse nuevamente.

Marco referencial

Para el diseño de un sistema compensador de temblores de Parkinson, es importante considerar el lugar en el cual será implementado, para después elegir el tipo de tecnología y principios físicos para solucionar el problema.

Los temblores de Parkinson son variados, comenzando con el plano sagital, el cual divide al cuerpo en dos partes iguales (izquierda y derecha) desde la parte anterior y posterior, las afecciones motoras se manifiestan en uno de estos lados. En este caso, el síntoma abordado será el temblor en las manos.

Actualmente los dispositivos actuales destinados a reducir los temblores de la mano se pueden adquirir por un costo elevado, además su venta y desarrollo se encuentra fuera de la República Mexicana. Los productos comercializados como lo son *Cala Trio* o Gyenno Spoon son dispositivos que se encuentran a la vanguardia y ofrecen soluciones para mejorar la calidad de vida e intentan devolver a la normalidad la vida de los usuarios, siendo el primero una pulsera que, a través de la estimulación de los nervios de la muñeca por descargas eléctricas provee sesiones terapéuticas para mitigar los temblores a través de un guante; mientras que, el segundo, es un mango dentro del cual hay un sistema electrónico que controla un complejo de motores y un sistema de transmisión, esto con el objetivo de ensamblar dos piezas intercambiables que son una cuchara y un tenedor lo que favorecerá a la estabilidad de la herramienta al momento de comer [12].

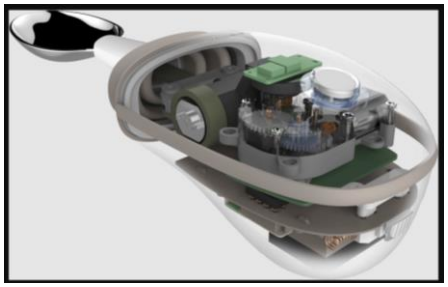


Ilustración 1 Dispositivo Gyenno Spoon. Gyenno Science. Recuperado de: https://www.gyenno.com/spoon-en

Los dos dispositivos anteriormente mencionados presentan soluciones innovadoras para un mismo problema, sin embargo, difieren en la forma en que lo abordan. Para el caso de Cala Trio, está enfocado en proporcionar sesiones terapéuticas, una alternativa para eliminar momentáneamente los temblores y requiere de prescripción médica para su adquisición [13].

A pesar de las soluciones, ambos dispositivos no contemplan en su desarrollo el aspecto de la movilidad del usuario o la capacidad que este puede tener al momento de mantenerse independiente en su transporte.

Cabe mencionar que el desarrollo directamente de compensadores de temblores no solo está enfocado en accesorios u órtesis, también se pueden encontrar soluciones indirectamente en los sistemas de ayuda al conductor que varios fabricantes de vehículos implementan como sistemas de seguridad extra. Tal es el caso de los Sistemas Avanzados de Asistencia al Conductor (*ADAS* por sus siglas en inglés) los cuales son variados debido al tipo de ayuda que ofrecen, los cuales se pueden encontrar como [14]:

- Frenado autónomo de emergencia.
- Alerta de tráfico cruzado.
- Aviso de cinturones en todas las plazas.
- Cámara de marcha atrás y 360°.
- Detección de ángulo muerto.
- Alerta de frenada de emergencia.
- Asistente inteligente de velocidad.
- Alerta de salida y asistente de permanencia de carril.

Varios de estos sistemas son implementados en los vehículos para mejorar la experiencia al conducir, aumentar la seguridad del conductor y proveer nuevas formas para evitar colisiones o siniestros ya sea durante la conducción, al aparcar o incorporarse nuevamente a la vialidad. Si bien estas nuevas mejoras optimizan y mejoran la conducción al reducir los errores del conductor, los vehículos que cuentan con estas características tienden a ser de una gama superior o dentro de los modelos de una sola marca, según los aditamentos extra que tenga, su precio aumenta.

En México, los autos más vendidos durante el año 2022 pertenecen a los fabricantes Kia y Nissan, los cuales se posicionaron en el tope de ventas con sus modelos Kia Río y Nissan Versa [15]. Dentro de los diferentes sistemas de asistencia al conductor, se muestran en la tabla siguiente:

ADAS	Nissan Versa						Kia Río					
	Sense		Advance		SR	Exclusive	LX		EX		Ex pack	S pack
	TM	CVT	TM	CVT	CVT	CVT	TM	TA	TM	TA	TA	TM
Alerta de tráfico cruzado	-	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-
Frenado inteligente	-	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-
Alerta de punto ciego al rebasar	-	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-
Frenado inteligente de Emergencia	*	*	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-
Frenos ABS	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Asistente de arranque en pendientes	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Control electrónico de estabilidad	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Precio	$321,900	$338,900	$359,900	$379,900	$390,900	$399,900	$303,900	$318,900	$337,900	$337,900	$365,900	$383,900

Tabla 1 Sistemas de asistencia de los autos más vendidos en México 2022. Elaboración propia e información obtenida del Catálogo Nissan y Kia respectivamente.

A pesar de los múltiples sistemas de ayuda que tienen los autos más vendidos en México, es necesario señalar que para un conductor con Parkinson, ninguno cuenta con el sistema de permanencia de carril que podría asistirlo ante un temblor, además, solo el Nissan Versa tiene incluido un el sistema de tráfico cruzado y la alerta de punto ciego ante rebase el cual solo está presente en su tope de gama, volviéndolo un soporte que no todos los usuarios podrían adquirir, en comparación con el Kia, este ofrece menos ADAS que el Nissan, a pesar de su costo es menor por casi $20,000.00 en cada variante además de que coincide con Nissan en su ausencia de asistentes anteriormente mencionados.

Por tanto, es imperante el diseño de un dispositivo que sea capaz de proporcionar estabilidad en la conducción del vehículo a los usuarios para mejorar la seguridad en la vialidad, la precisión en sus movimientos y que les devuelve la confianza para desplazarse nuevamente en sus automóviles.

Las ventajas sobre el uso de este dispositivo radican en que no será necesario la adquisición de un nuevo vehículo que ofrezca asistencias al conductor para mantener estable el curso del vehículo o considerar renunciar a la conducción debido a los temblores.

Para destacar entre los demás dispositivos supresores de temblores, esta propuesta está orientada al uso óptimo de un vehículo, además, no requiere de prescripción médica, su tamaño se mantendrá bajo, su costo será accesible y contará como un dispositivo que podrá ser adquirido en la República Mexicana para aumentar el alcance de más posibles usuarios de habla española.

El diseño del dispositivo considera como mejoras en la conducción y en la calidad de vida del usuario como:

- Reducción de la amplitud de los temblores en la mano mientras se usa el dispositivo.
- Aumento en la estabilidad de la mano para dirigirla de un lado a otro.
- Mayor consistencia para sujetar objetos.
- Mayor precisión para accionar botones o palancas dentro del habitáculo del automóvil.
- Mejora en la posibilidad de usar un medio de transporte privado individualmente.
- Evitar las posibles caídas al optar por moverse en un vehículo privado.
- Aumento en la permanencia de chófer como fuente de ingresos o transportista.

Marco conceptual

Hay diversos principios físicos utilizados para la supresión de temblores como lo es la inmovilización de la extremidad, la inercia rotacional, la viscosidad o incluso las descargas eléctricas en nervios localizados para contrarrestar las discinesias, estos están caracterizados por no ser invasivos, no requieren de medicación o una cirugía. En este caso solo consideraremos los dispositivos que utilizan cargas inerciales o amortiguadores viscosos o mecánicos. Cabe mencionar que el desarrollo de estabilizadores giroscópicos está presente también en el área de la navegación ya sea terrestre, aérea o marítima. Tal es el caso de la patente de Lit Motors el cual utiliza sistemas inerciales para mantener las motocicletas sobre dos ruedas cuando no se encuentre en movimiento. El diseño de este sistema fue patentado por Lit Motors Corporation gracias a los inventores: Kim, Daniel Kee Young; Bretney, Kevin y Tsang, Anderew L. Este consiste en el control de un volante de inercia que, por medio de la precesión giroscópica, producirá un par inverso para mantener verticalmente un vehículo de dos ruedas [16].

El diseño del estabilizador giroscópico cuenta con tecnología que le permite controlar el par del giroscópico y recabar información acerca del estado del vehículo gracias a los siguientes aditamentos:

- Aparato de Momento de Control (CMG) con volante de inercia, motor de propulsión del volante de inercia para accionarlo.
- Sistema de control para manipular la disposición del aparato CMG.
- Sensores de posición, velocidad y aceleración para el volante de inercia respecto al cuerpo del vehículo.
- Sistema de control de balanceo, inclinación y estabilidad contra alteraciones externas.
- Soporte cardánico

Estos componentes son parte del sistema inercial que se encarga de la estabilidad vertical del vehículo. La relación de este invento radica en suprimir las alteraciones que provocan que el vehículo vuelque, por medio del CMG que contrarresta el vector de torque de peso producido por la gravedad. Considerando los torques que producen los temblores como las alteraciones a compensar por medio del diseño del compensador de temblores de Parkinson.

La implementación del estabilizador de vehículos contempla giroscopios pequeños y de bajo peso para mejorar el consumo de energía y mantener pequeños los motores que los harán girar, además de optimizar el peso total agregado.

Otro desarrollo en supresión de temblores que se encuentra a la vanguardia es el *WOTAS (Wearable Orthosis for Tremor Assesment and Suppression)* cuyo funcionamiento consiste en la aplicación de fluidos magneto-reológicos que modifican su viscosidad ante la presencia de un campo magnético, además de polímeros electroactivos que generan una fuerza por la aplicación de una corriente eléctrica [17]. Para los movimientos de flexo-extensión del codo, flexo-extensión de la muñeca y pronación-supinación del antebrazo el exoesqueleto puede ser ajustado para las diferentes distancias de articulación de codo a muñeca de modo que WOTAS presenta una mayor cobertura para las discinesias puesto que no solo mejora los temblores, sino que también asiste por medio de

control de la rotación de una barra paralela que va desde el codo hasta la muñeca para controlar el movimiento de pronación-supinación [18].

El exoesqueleto WOTAS ofrece tres modos de operación:

- Monitorización: orientado a solo la medición y caracterización de temblores, sin una intervención activa en la supresión de temblores.
- Intervención Pasiva: en este modo, WOTAS se dedica a amortiguar los temblores mecánicamente por medio de la aplicación de cargas viscosas o inerciales sobre el miembro superior.
- Intervención Activa: por medio de la detección de señales por movimientos voluntarios e involuntarios, el dispositivo es capaz de suprimir los temblores por medio de un sistema dinámico que genera señales proporcionales a la intensidad del temblor.

A pesar de contar con múltiples funciones y con un rango de cobertura superior a otros dispositivos compensadores, su propio alcance implica que deba ser una órtesis de gran tamaño y que además cuente con múltiples subsistemas para monitorear y discernir entre los movimientos voluntario e involuntario. Cabe mencionar que su aplicación asiste en más movimientos de las extremidades superiores y que requieren de mayor área de sujeción y anclaje como lo es la base en el codo y sus respectivas barras paralelas. El precio y el tamaño de la invención es un factor importante al momento de su uso y adquisición asociado, si bien proporciona una gran capacidad de supresión, no es del todo útil para actividades del día a día [19].

Otra patente que apoya el uso de giroscopios como elemento compensador es el dispositivo GyroGlove impulsado por el fundador de GyroGear, el médico Joon Faii Ong, el cual consiste en un guante que se vale de la inercia de giroscopios para mantener estable la mano y contrarrestar los temblores [3]. Además, está equipado con sensores para detectar caídas, acelerómetros, sensores para métricas del cuerpo, además sensores de presión, de temperatura, pulso cardíaco, de sueño y conductividad de la piel; cada giroscopio tendrá acoplado de un sistema de alimentación de baterías recargables por medio de un sistema *Wireless* o de carga por inducción [20].

GyroGlove aún se encuentra en etapa de desarrollo y a pesar de que promete una rápida salida al mercado, la venta y distribución está enfocada en América del Norte, Reino Unido y Europa como primera etapa [3].

Capítulo 1: Antecedentes del Parkinson

Actualmente se conoce a la enfermedad de Parkinson así debido al médico que la describió ampliamente en su "Essay on the shaking palsy" publicado en 1817 por James Parkinson, no obstante, esta no era la primera investigación que abordaba la enfermedad y sus diferentes síntomas, sino que la información se remonta incluso hasta los papiros egipcios escritos durante la dinastía XIX (1500-1200 a.C.) sobre un rey que sufría de sialorrea [21].

El tratado clásico médico Ayurveda se publicó en el año 1000 a.C. escrito por Atreya y Susruta. En un principio en el hinduismo, existían los Vedas que eran escrituras sagradas. Otras posibles referencias al Parkinson pueden encontrar también en la biblia y en el libro de Job (Job:34:19): "Le corrige Dios mediante un continuo temblor de huesos" y en Eclesiastés (Eclesiastés 12:3-8): "En el día que tiemblen los guardianes de la casa y se encorven los hombres fuertes". Ambas que podrían relacionarse con los cambios posturales del anciano y quizás sobre el temblor del Parkinson.

James Parkinson en su libro "Essay on the shaking palsy" describió a la enfermedad como: "Movimiento involuntario tremulante con disminución parcial de la potencia muscular, en parte, no durante la acción, y aun apoyado, con una tendencia inclinar el tronco hacia adelante y a pasar de un paso de marcha al de correr. Los sentidos y el intelecto permanecen intactos." [22]

Además de la descripción, se agrega también la historia natural del Parkinson, como una enfermedad que se manifiesta sin alarmar al paciente en un inicio, los síntomas comienzan como una debilidad, a pesar de que la cabeza puede temblar, las extremidades tienden a hacerlo en mayor medida. Se consideran a estos síntomas como una primera etapa y que podría prolongarse durante al menos dos años. Más adelante, los síntomas se agravan y aparecen más, como lo es la dificultad para mantener la postura erecta o que el movimiento de la mano se vuelve errante.

De las extremidades superiores, pasamos a las inferiores, como las piernas son incapaces de extenderse totalmente afectando también en la marcha incluso provocando caídas de la persona. Con más tiempo, el paciente debe ser alimentado porque es complicado hacerlo por sí mismo, además de que la comida es retenida en su boca con dificultad y a su vez al momento de deglutir, en otros aspectos, tanto la orina como las heces no pueden contenerse y la saliva cae asiduamente.

A continuación, a través del trabajo realizado por Williams Gowers en su *Manual of Diseases of the Nervous System* [22] se muestran el número de pacientes que atendió, con un total de 80 casos de la Enfermedad de Parkinson (EP), se tiene un 63% en hombres, manifestándose por lo general después de los 40 años, siendo el más precoz a los 29 años y el más tardío a los 69.

Gowers también encontró una variación de frecuencia entre los 4.8 a 7 oscilaciones por segundo gracias al registro electromiográfico del temblor, también, describió la naturaleza de los movimientos voluntarios como débiles y lentos que podría resultar de un retardo al iniciar el movimiento. Entrando al apartado de los síntomas mentales, Gowers agregar irritabilidad, depresión y, en casos más desarrollados, pérdida de la memoria, debilidad mental y tendencia alucinatoria [22].

Según el IMSS, la enfermedad suele comenzar entre los 50 y 60 años e incluso hay una clasificación de Parkinson juvenil a aquellos casos que tengan síntomas desde antes de los 40 años, presentándose tanto en hombres como mujeres sin ser hereditaria o contagiosa [23].

Dentro de los síntomas típicos de la enfermedad de Parkinson se encuentran los siguientes:

- Temblor de reposo:
  Normalmente representado como el síntoma inicial, este se manifiesta en una extremidad de un solo lado del cuerpo para después aparecer en el extremo restante.
- Rigidez (hipertonía):
  Los músculos están rígidos y con poca flexibilidad, siendo otro síntoma inicial del Parkinson.
- Lentitud (Bradicinesia):
  En este caso los movimientos tienden a ser lentos involuntariamente, provocando un aumento en tiempo para realizar actividades del día a día.

Para otros síntomas motores [24] señala que puede presentarse dificultad en el habla, disfagia, visión borrosa, distonía, mioclonus, escliosis. Dentro de los no motores se tienen a: demencia, disfunción cognitiva, alteraciones del sueño, psicosis, ansiedad, disfuncipon gastrointestinal, fatiga y dolor generalizado.

1.1 Estadíos del Parkinson

Debido a la manera en que se desarrolla la enfermedad y a los diferentes síntomas que se van manifestando, se establecieron distintos estadíos clínicos para que el tratamiento pueda ser preciso según en la etapa que se encuentre. La clasificación Hoehen y Yahr es un estándar de referencia en la evaluación global de la gravedad de los pacientes considerando también la función motora y avance de la enfermedad, en la versión original existe una clasificación desde I a V estadíos y cada uno establece que: Estadío 1 indica enfermedad unilateral; estadío 2 indica enfermedad bilateral sin inestabilidad postural; estadío 3 indica inestabilidad postural; estadío 4 indica una discapacidad considerable, pero se mantiene la habilidad para andar independientemente; estadío 5 indica dependencia de la silla de rueda o que solo pueden andar con ayuda. [25]

Además, dentro de la Guía de Práctica Clínica para el Manejo de Pacientes con Enfermedad de Parkinson, se menciona los síntomas divididos por cada estadío en un diagnóstico reciente:

Estadío 1:

- Expresión facial normal.
- Postura erecta.
- Posible temblor en una extremidad.
- Dificultades en motricidad fina.
- Rigidez y bradicinesia a la exploración cuidadosa.
- Disminución al caminar, arrastrando un poco los pies.

Estadío 2:

- Alteración de la expresión facial.
- Disminución del parpadeo.
- Postura en ligera flexión.
- Enlentecimiento para realizar las actividades de la vida diaria.
- Síntomas depresivos.
- Posibilidad de efectos secundarios de los medicamentos.

Para pacientes moderadamente afectados las manifestaciones son las siguientes:

Estadíos 3 y 4:

- Dificultades al caminar.
- Dificultades en el equilibrio.
- Sensación de fatiga.
- Dolores.
- Dificultades comunicativas.

Para pacientes severamente afectados:

Estadío 5:

- No todos los pacientes llegan a esta etapa.
- Son dependientes.
- Se mantienen sentados o en cama la mayor parte del tiempo.
- Los trastornos de lenguaje ya están desarrollados.
- Disfagia progresiva.

Para evaluar qué tan comprometido está el cuerpo humano debido a la enfermedad, se tiene la escala MDS UPDRS que se divide en 4 clasificaciones [26]:

1) Experiencias no motoras de la vida diaria.
2) Experiencias motoras.
3) Examen motor.
4) Complicaciones motoras.

Cada una de las anteriores tiene 5 opciones para responder y van desde el 0 al 5 siendo el primero 0 normal, 1 ligero, luego 2 leve, 3 moderado y 4 grave.

Para el tratamiento del Parkinson, existen varias alternativas que benefician ciertos aspectos de la vida del paciente y del desarrollo de la enfermedad. Si bien no hay una cura, es posible alentar el progreso del trastorno. A pesar de la gran cantidad de opciones, los tratamientos tienen que ser personalizados para cada paciente [25].

Si bien la cantidad de tratamiento son variados, en este caso se tomará en cuenta la rehabilitación que tiene como enfoque la terapia ocupacional (OT). Esta terapia favorece a la independencia, autonomía y a prevenir la incapacidad del paciente a través del desarrollo de actividades y ejercicios, logrando así, mejoras notables en la calidad de vida.

1.2 Edades del Parkinson

A pesar de que en México no cuenta con cifras exactas de la cantidad de personas que actualmente sufren de Parkinson, el IMSS calcula que existen al menos 300,000 con esta condición [1]. Según el artículo de Incidencia y distribución geográfica de la enfermedad de Parkinson en México, se encontró que existe mayor incidencia en la región noroeste del país y occidente, mientras que los estados que se encuentran en la región sur presentan menor concentración [27].

Ilustración 2 Incidencia de Parkinson por Estados mexicano.

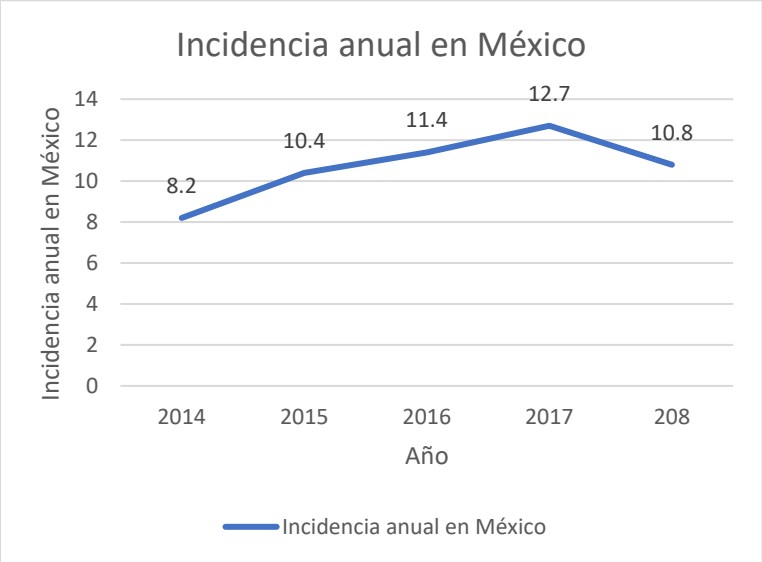


Ilustración 3 Incidencia anual en México por año.

Ilustración 4 Incidencia de Parkinson por edades.

A pesar de los rangos de edad en los que el Parkinson puede manifestarse, existe también casos de esta enfermedad, pero en edades tempranas. Apareciendo en una edad comprendida entre los 21 a 45 años, el llamado Parkinson Juvenil se hace presente nuevamente con los síntomas que se han hablado anteriormente [28] como lo pueden ser rigidez, calambres dolorosos con temblores tras su cese, bradicinesia, distonía, alteraciones de la marcha y caídas.

Nuevamente, México carece de cifras oficiales de personas con Parkinson juvenil debido a la falta de interés de la recopilación de información ni modelos que permitan la captación de datos de los pacientes para conocer más sobre la salud de la población [29].

Capítulo 2: Biofísica de la contracción muscular

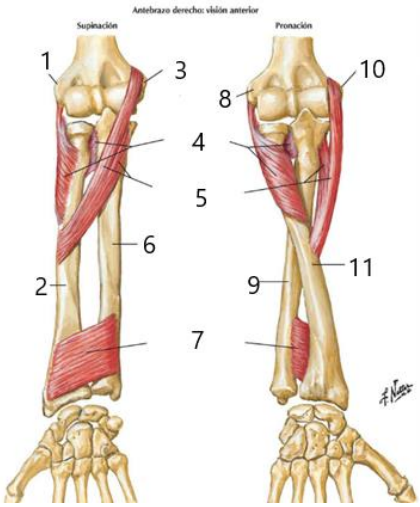
2.1 Energética muscular

Para conocer mejor acerca de los temblores, es necesario abordar la anatomía de las extremidades implicadas, comenzando con la mano y el antebrazo. Comenzando con el segundo, este está formado por dos huesos que se encuentran junto al otro y están articulados en sus extremos, pero separados en toda su longitud. El cúbito y el húmero en conjunto forman el antebrazo, mientras que el cúbito es un hueso largo situado medial al radio, el otro posee una curvatura que también es cóncava medial y su forma es prismática triangular [30].

El movimiento del antebrazo se puede descomponer como dos tipos: supinación y pronación. El primero está definido como una posición que comienza con la extensión del miembro superior en sentido lateral del cuerpo con la palma hacia adelante y el pulgar hacia el lateral; el siguiente, manteniendo la misma posición del miembro, pero ahora con la palma hacia atrás y el pulgar hacia el sentido medial. Cuando el miembro pasa de una posición a otra, se le conoce como movimiento de pronosupinación [31].

Los músculos implicados en los movimientos de pronosupinación se mencionan a continuación y muestran en la imagen siguiente:

- Músculos pronadores: pronador redondo y pronador cuadrado.
- Músculos supinadores: supinador y bíceps braquial.



1. Epicóndilo lateral.
2. Radio.
3. Epicóndilo medial.
4. Músculo supinador.
5. Músculo pronador redondo (Cabezas cubital [profunda] y humeral [superficial]).
6. Cúbito.
7. Músculo pronador cuadrado.
8. Epicóndilo lateral.
9. Cúbito.
10. Epicóndilo medial.
11. Radio.

Ilustración 5 F. Netter. M.D. (s.f.) Título: Músculos individualizados del antebrazo: rotadores del radio. Recuperado el 18 de agosto 2022 del libro: Netter, F. (2019) Atlas de Anatomía Humana (7ma Ed.) España: Elsevier.

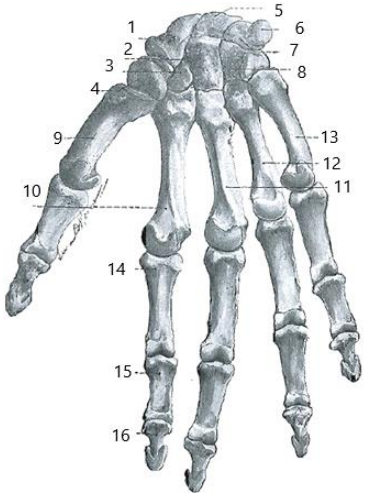
El antebrazo tiene un movimiento rotacional, si bien la mayoría de las actividades cotidianas se realizan en un rango de 50°, además, en el libro de Medición Clínica del movimiento articular, se realizó un estudio sobre la rotación máxima del antebrazo, dando como resultados un ángulo de

71°± 9.9° en pronación y 88°± 9.0° en supinación tomando como punto inicial la palma de la mano perpendicular al piso [32].

Como se ha mencionado, el Parkinson afecta el movimiento de las extremidades, volviéndolas lentas o complicando el inicio de su desplazamiento. Entonces, en un déficit motor que afecta la rapidez y potencia del movimiento, el aparato muscular supinador puede comprometerse y alterarse la actividad de los tres nervios que intervienen en su control: el nervio medial (pronador redondo y cuadrado), el radial (supinador) y el musculocutáneo (bícepsbraquial) [31] .

La anatomía de la mano está conformada por tres grupos de huesos llamados: carpo, metacarpo y las falanges. El carpo tiene 8 huesos cortos ordenados en 2 hileras equitativamente que llevan por nombre superior o antebraquial e inferior o metacarpiana. La fila superior está formada por huesos escafoides, semilunar, piramidal y pisiforme; la fila inferior o metacarpiana comprende los huesos trapecio, trapezoide, grande y ganchoso [30].

El siguiente grupo de huesos que son los metacarpianos se encuentran justo después de los huesos de la segunda fila o superior que fueron anteriormente mencionados y están inferiormente a las falanges proximales de los dedos. Este grupo forma el esqueleto de la palma de la mano y el dorso y está compuesto por cinco huesos largos de nombre huesos metacarpianos, además de lateral a medial se llaman primero, segundo, tercero… y quinto [30].



1. H. Escafoides.
2. H. Grande.
3. H. Trapezoide.
4. H. Trapecio.
5. H. Semilunar.
6. H. Pisiforme.
7. H. Piramidal.
8. H. Ganchoso.
9. 1er H. Metacarpiano.
10. 2do H. Metacarpiano.
11. 3er H. Metacarpiano.
12. 4to H. Metacarpiano.
13. 5^{5o} H. Metacarpiano.
14. Falange proximal.
15. Falange media.
16. Falange distal.

Ilustración 6 [Esqueleto de la mano] (s.f.) Recuperado el 16 de agosto de 2022. Anatomía Humana. Descriptiva, Topografía y Funcional.

En la Ilustración 1 se puede apreciar la distribución de los grupos de huesos, comenzando con el carpo y el metacarpo, seguido de las falanges. En este último conjunto se encuentran los dedos formados por tres segmentos óseos a excepción del pulgar que tiene solo dos huesos, el nombre de cada uno de los 3 está dado a partir del más cercano al metacarpo: falange proximal, falange media y distal. La mayoría de las falanges poseen un cuerpo semicilíndrico, convexo y ligeramente plano anteriormente [30].

El siguiente tema para tratar son las articulaciones de la mano las cuales son: articulación radiocarpiana, articulaciones del carpo, articulaciones de la palma y de los dedos, articulaciones

intermetacarpianas, metacarpofalángicas e interfalángicas de la mano. En este trabajo solo se abordarán las articulaciones radiocarpianas, del carpo, de la palma y de los dedos.

Es necesario considerar las articulaciones radiocarpianas debido a que estas son la conexión entre el hueso radio y los huesos de la mano, su interacción es asistida por membranas fibrosas y ligamentos que permiten mayor número de desplazamientos entre huesos, además también están implicadas las arterias y nervios que provienen de los nervios interóseos originados del mediano adelante y del radial.

Los huesos del carpo están articulados entre sí y distribuidos en dos filas:

- Articulaciones de los huesos del carpo entre sí.
- Articulaciones entre la primera y la segunda fila.

Las arterias y nervios son idénticas a las del radiocarpiano, las articulaciones están ocultas por el contenido del túnel carpiano y posee una sola cavidad articular.

Para el caso de las articulaciones de la palma y de los dedos, se encuentran 4 divisiones más, las cuales son [30]:

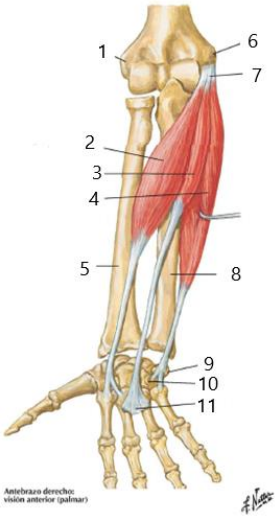
- Articulaciones carpometacarpianas:
  Se puede diferenciar entre dos, la articulación carpometacarpiana del pulgar y la de los demás metacarpianos, el primero se distingue en una gran movilidad además de que está asegurado por la arteria radial y el nervio mediano. Para las articulaciones de los demás dedos, cada uno de estos se articula con un hueso del carpo, como lo es el 2° metacarpiano con el hueso trapecio, el 3° con el hueso grande, el 4° con el hueso ganchoso y finalmente el 5° con el mismo que el anterior. Los nervios de la articulación de metacarpianos provienen de la rama profunda del cubital y de los ramos dorsales del radial.
- Articulaciones intermetacarpianas:
  Establecen la interacción entre los metacarpos, como lo es el 2° con el 3°, el 3° con 4° y el 4° con el 5°, mientras que el pulgar queda libre. El medio que los une son ligamentos interóseos muy cortos.
- Articulaciones metacarpofalángicas: con una articulación de forma elipsoidal se unen la extremidad distal de cada metacarpiano a la parte proximal de la 1er falange de cada dedo, permitiendo una gran movilidad.
- Articulaciones interfalángicas: estas conectan los extremos de dos falanges continuas y permiten el movimiento según el sentido de la flexión y extensión. Mientras que cada dedo admite dos articulaciones, el pulgar solo puede contener una sola.

Los movimientos a los que está sujeta la mano vienen de la muñeca y son cuatro: extensión, flexión, abducción y medial. Considerando la mano izquierda con la palma extendida y paralela al antebrazo, se describe cada movimiento como [33]:

- Flexión: este movimiento consiste en rotar la mano hacia abajo, quedando hacia el interior del antebrazo.
- Extensión: el movimiento de la mano se dirige hacia la parte posterior del antebrazo. También es llamado hiperextensión.
- Abducción: el movimiento de la mano es una rotación que sigue al pulgar.

- Medial: como el caso anterior, ahora la rotación está enfocada hacia el meñique.

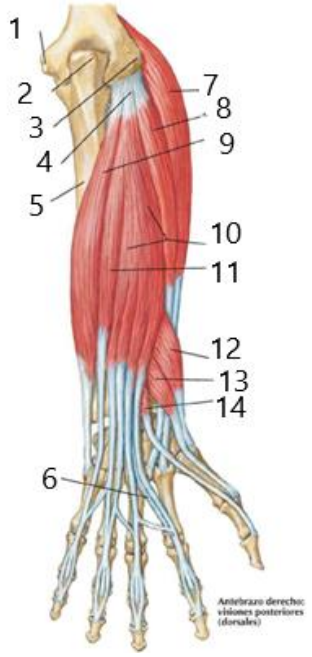
Los músculos que se encargan de realizar estos movimientos son seis, a pesar de que mueven la muñeca, no están relacionados en los desplazamientos de los dedos. Están agrupados según su función y ubicación, los tres primeros están en el grupo flexor de la muñeca: flexor radial del carpo, flexor del capo cubital y palmar largo [33].



1. Epicóndilo lateral.
2. Músculo flexor radial del carpo.
3. Músculo palmar largo.
4. Músculo flexor cubital del carpo.
5. Radio.
6. Epicóndilo medial.
7. Tendón común de los flexores.
8. Cúbito.
9. Hueso pisiforme.
10. Gancho del hueso ganchoso.
11. Aponeurosis palmar (cortada).

Ilustración 7 F. Netter. M.D. (s.f.) Título: Antebrazo derecho: visión anterior (palmar) Recuperado el 18 de agosto 2022 del libro: Netter, F. (2019) Atlas de Anatomía Humana (7ma Ed.) España: Elsevier.

El grupo de músculos extensores de la muñeca son: extensor radial largo del carpo, extensor del carpo cubital y extensor radial corto del carpo, cada uno de estos músculos puede apreciar en la ilustración siguiente, así como su ubicación y disposición [33].



1. Epicóndilo medial.
2. Olécranon.
3. Epicóndilo lateral.
4. Tendón común de los extensores.
5. Cúbito.
6. Tendón del extensor del índice.
7. Músculo extensor radial largo del carpo.
8. Músculo extensor radial corto del carpo.
9. Músculo extensor cubital del carpo.
10. Músculo extensor de los dedos.
11. Músculo extensor del dedo meñique.
12. Músculo abductor largo del pulgar.
13. Músculo extensor corto del pulgar.
14. Músculo extensor del largo del pulgar.

Ilustración 8 F. Netter. M.D. (s.f.) Título: Antebrazo derecho: visiones posteriores (dorsales) Recuperado el 18 de agosto 2022 del libro: Netter, F. (2019) Atlas de Anatomía Humana (7ma Ed.) España: Elsevier.

Para acercarnos a entender en mayor medida los temblores en el Parkinson, es imperante conocer los elementos que están afectados y a su vez los diferentes sistemas que impactan, como en este caso lo es con las manos y el brazo. Una vez identificados, se requiere conocer acerca del movimiento de las extremidades para después abordar las magnitudes físicas que están implicadas, como lo es la velocidad angular, la aceleración lineal o la frecuencia de los temblores de la mano.

2.2 Mecánica de la contracción en el músculo esquelético

El cuerpo humano debe su movimiento a los músculos que lo impulsan a seguir avanzando a lo largo de su existencia, esta parte del ser humano puede encontrarse a lo largo de sus extremidades y sus propiedades, tales como la excitabilidad, contractibilidad o elasticidad, les permite realizar actividades más complicadas que requieren mayor precisión, fuerza o delicadeza.

Lo que posibilita al músculo de tantas propiedades, es la forma en la que está formado. Este está constituido por varias agrupaciones alargadas de Fascículos musculares que además contienen varias filas de fibras musculares cuya característica es la contractilidad [34].

Además del componente contráctil también hay uno no contráctil dentro del músculo el cual está dividido por un componente elástico paralelo (tejido conjuntivo y miofibrillas), y un elástico seriado (tendón, unión de sarcómeros)

La fuerza y la velocidad que puede producir el músculo está relacionado a la disposición de las miofibrillas y su tamaño, en el primer caso, el músculo puede crear una fuerza que es proporcional a la sección transversal de la miofibrilla, mientras que, lo segundo, está relacionado a la longitud de las miofibrillas [35].

Los músculos esqueléticos pueden clasificarse según el orden de sus fibras y la inserción: Fusiformes y Penniformes, cada uno está especializado en la fuerza o velocidad. Las fibras musculares fusiformes se acoplan a lo largo del eje longitudinal del músculo, la velocidad es la principal característica debido a que al acortarse también lo hace el músculo completo, provocando un desplazamiento total del hueso. Los Penniformes está dispuestos en un ángulo oblicuo respecto al eje longitudinal del músculo, la diferencia es que, al acortarse las fibras musculares, no hay un acortamiento global del músculo, este comportamiento favorece en desarrollar más la fuerza que la velocidad, además de que pueden almacenar un mayor número de fibras musculares [35].

2.3 Tipo de contracción

Para que nuestro cuerpo pueda desplazar, mover o sostener objetos, interactuar con su entorno, requiere del esfuerzo que hacen sus músculos. Estos elementos tienen un papel importante a la hora de ejecutar movimientos puesto que son los encargados de iniciarlos, además, modulan la intensidad y su velocidad, incluso, pueden ser entrenados para que sus límites de fuerza sean superados.

El comportamiento de un músculo se debe al tipo de contracciones que puede realizar, dentro estas encontramos a las isométricas, isotónica y auxotónica.

Las isotónicas se caracterizan por ser tensiones musculares apoyadas por el acortamiento o alargamiento de fibras musculares de algunos músculos de las cuales se tienen las siguientes [36]:

- Contracción concéntrica: esta es la más común puesto que se define por la tensión y contracción del músculo lo que provoca un movimiento.
- Contracción excéntrica: al tensionarse el músculo, se crea una fuerza mayor que la tensión que la produce, debido a esto, el músculo cede y se alarga mientras que mantiene la tensión al realizar el movimiento.

Abordando a las contracciones isométricas, el músculo al tensionarse no produce un cambio significativo en la forma de las fibras musculares, se mantiene su forma, sin embargo, los tendones sí presentan un alargamiento junto con un acortamiento del vientre muscular, lo que produce un aumento en la tensión. Esto permite aplicar una fuerza y mantener su magnitud sin que implique un movimiento en la superficie o en el objeto en que recae la acción [36].

Continuando con la siguiente contracción, la auxotónica, se caracteriza por ser una combinación de dos contracciones: isotónica e isométrica. Al inicio de la tensión estará presente la isotónica, conforme la contracción ceda, aparecerá la isométrica.

2.4 Respuesta del músculo a un estímulo

Así como las contracciones musculares propician que el cuerpo pueda desplazarse por medio de las piernas o que las manos tengan la firmeza para sostener un objeto o cambiarlo de posición, hay un sistema que está encargado de controlar cada una de las contracciones y movimientos.

El primer elemento encargado de controlar los estímulos musculares son las motoneuronas las cuales son las encargadas del transporte de los impulsos eléctricos que llegan desde el sistema nervioso central para activar el movimiento del músculo [37]. La zona en la que se encuentran conectadas las neuronas a través de sus axones con el músculo se le llama Unión neuromuscular.

Las partes de la neurona como se puede ver en la ilustración 5, constan del cuerpo, también llamado soma (*cell body*), el cual contiene su núcleo, y de este salen proyecciones citoplasmáticas conocidas como dendritas (*dendrites*), las cuales establecen conexiones entre otras neuronas para el intercambio de información; el axón (*axon*) es una prolongación que viene de la zona cónica y puede o no estar cubierta por mielina (myelin sheath), su función es aislar al axón [38].

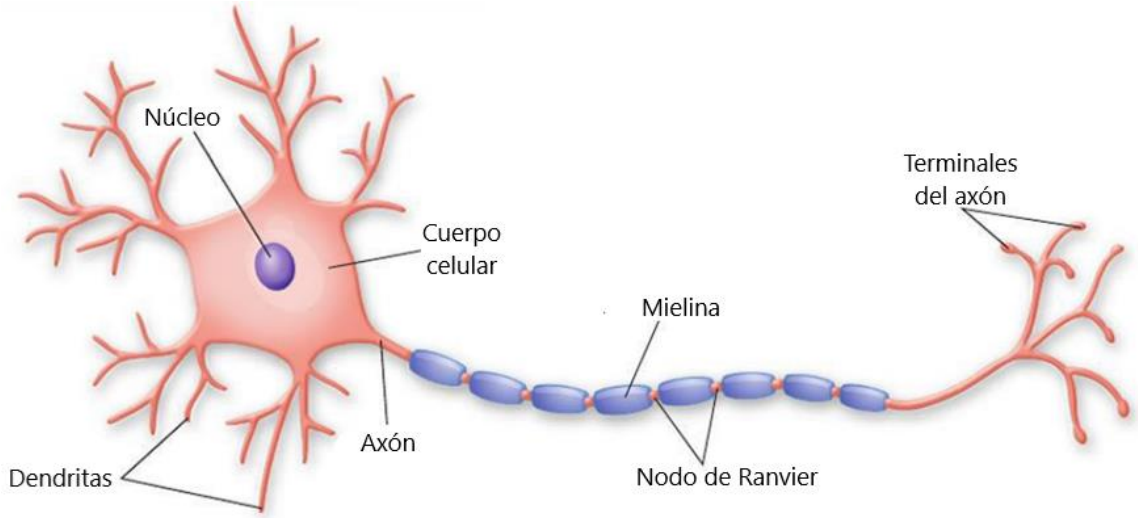


Ilustración 9 Título: Neurona. (s.f.) Recuperado el 23 de agosto 2022 del libro: Miller, K., Levine, J. (2010) Biology (1 edición) Boston. Pearson.

La acetilcolina es un neurotransmisor que está implicado en las sinapsis del sistema nervioso somático y autónomo nervioso, si sus niveles cambian, entonces aparecen las alteraciones de conducta y motoras, como los presentados en la enfermedad de Parkinson. Durante el decremento en los niveles de dopamina, la presencia acetilcolina crece [39].

La neurotransmisión consiste en el flujo del neurotransmisor acetilcolina que es liberado por la terminación nerviosa para que llegue al receptor en el sarcolema y produzca un impulso eléctrico (potencial de acción nervioso), después, por medio de la liberación de iones calcio, se combinan entre los filamentos proteicos de actinia y miosina para que haya paso a la contracción de músculo [34].

Hay dos clasificaciones de neuronas motoras:

- Neurona motora superior: son las principales neuronas que están encargadas de los movimientos voluntarios, además, establecen una comunicación entre la corteza cerebral con el tronco del encéfalo y la médula espinal. Tienen varios caminos establecidos por los cuales pueden moverse, estos son: tractos piramidales, extrapiramidales, rubroespinales, tectoespinales y reticuloespinales, cada trayecto cubre una función en el cuerpo, como lo es el control de movimientos conscientes, funciones motoras subconscientes como la postura y el balanceo, movimientos involuntarios, actividad de los músculos de la nuca y el control de acciones autónomas en el cuerpo, respectivamente [37].
- Neurona motora inferior: están situadas en la médula espinal y controlan la comunicación de los impulsos eléctricos hacia los músculos esqueléticos, órganos y glándulas, cade mencionar que están también subclasificadas como alfa, beta y gamma siendo las primeras dos encargadas de las contracciones musculares, mientras que, la última, a la precisión y fineza de las contracciones controladas por las alfas [37].

Además de las neuronas motoras, también se encuentran los músculos voluntarios e involuntarios, deben su nombre debido al control al que están sujetos. Los músculos esqueléticos regulan los movimientos del cuerpo bajo un control consciente, a través de la liberación de la acetilcolina desde el nervio de la célula hasta las fibras musculares [40]. Algunos músculos que se encuentran bajo este régimen son: brazos, piernas, bíceps, tríceps, glúteos, cuádriceps y tendón de la corva.

Los músculos involuntarios son regulados por el sistema nervioso central y están encargados de la actividad de los órganos, circulación, respiración, digestión y de los vasos sanguíneos a lo largo del día. La característica de estos es la blandeza que presentan, carecen de un cuerpo estriado o no están acoplados a huesos; ejemplo de estos son los intestinos o las paredes de los vasos sanguíneos [40].

2.5 Relación Fuerza-Longitud

Además de las contracciones, el músculo experimenta 3 tipos de tensiones musculares, cada una asociada al acortamiento del músculo al ejercer una fuerza. Cabe mencionar que un concepto importante es la Longitud de reposo, esta tiene lugar cuando se alcanza la longitud ideal del músculo para generar la tensión máxima, por tanto, si se supera o es insuficiente la longitud, la fuerza se verá reducida. Considerando estos aspectos, los tipos de estrés muscular son los siguientes [41]:

- Tensión activa: esta es producida por la contracción que ejercen los sarcómeros del músculo.
- Tensión pasiva: es alcanzada al estirar el músculo más allá de su longitud de reposo.
- Tensión total: es la combinación de las tensiones pasiva y activa, su relación es inversamente proporcional una de la otra, es decir, en un estiramiento muscular, una vez superada la longitud de reposo, la tensión activa decrece, pero aumenta la pasiva.

La fuerza muscular también depende del área de sección transversal del músculo y está expresada como: $50\ N/cm^2$. Existe otra relación con la fuerza muscular y este es el momento de fuerza, este se aproxima al considerar la posición de la fuerza con relación a la articulación multiplicado por la distancia de la línea de aplicación [41]:

$$M = F \cdot d$$

Ecuación 2.5. 1 Momento lineal en términos de fuerza y la distancia al punto de apoyo.

$M = momento\ de\ fuerza$

$d = despazamiento\ lineal$

$F = fuerza$

En consecuencia, es posible definir el trabajo de un músculo como el producto del momento de fuerza por el desplazamiento angular del segmento en la dirección del movimiento generado:

$$W = M \cdot \alpha$$

Ecuación 2.5. 2 Momento angular en términos del momento lineal y el desplazamiento angular.

$W = trabajo\ del\ músculo$

$M = momento\ de\ fuerza$

$\alpha = desplazamiento\ angular\ en\ radianes$

El cuerpo humano puede describirse de varias formas, una de estas es a través de sus dimensiones, si bien una medida no será la misma para las extremidades de todas las personas, sí se puede establecer un promedio, el cual dependerá de la cantidad y el tipo de individuos medidos.

Comenzando con los miembros superiores, como lo es el brazo, antebrazo y la mano. Según Plagenhoef [42] las medidas de las extremidades superiores fueron relacionadas como un porcentaje de la altura total de una persona para que fuese una medida estandarizada y aplicable a

cualquier cuerpo. En la siguiente tabla se muestran las medidas del brazo, antebrazo y mano Plagenhoef obtuvo:

Extremidad	Longitud [cm]	
	Hombre	Mujer
Brazo	31.0	29.4
Antebrazo	28.3	27.2
Palma	10.4	9.8
Antebrazo-palma	28.3	27.2

Tabla 2 Medidas de las extremidades superiores

Existen varias técnicas para calcular la longitud diferentes partes del cuerpo y de su propia masa, en unos primeros intentos, Kollmann en el siglo XX dividió el cuerpo humano en diez partes iguales y cada una de estas podía subdividirse en otras diez más, pero fueron las técnicas de inmersión prevalecieron al final, estas trataban acerca de calcular el volumen desplazado de agua al sumergir un segmento del cuerpo considerando una densidad homogénea en todas las partes, en fue para el caso de la masa, mientras que, para la longitud, se tomaron como medida estándar la longitud de la mano y la del cuerpo entero de modo que las dimensiones de los demás segmentos serían proporcionales a estas [43].

Para la técnica de inmersión, en 1858 el investigador Harless [43] disecó a cinco cadáveres de hombre y tres de mujeres, además, utilizó las longitudes absolutas y relativas del cuerpo, como se ha mencionado antes, se trata de la medida de la mano como unidad de medición estándar, mientras que la segunda toma de referencia la longitud total del cuerpo. Los datos del cuerpo son los siguientes:

Extremidad	Longitud [cm]	Porcentaje con base a la mano [%]	Porcentaje con base al cuerpo [%]
Brazo	36.4	1.792	211.11
Antebrazo	29.9	1.471	173.1
Mano	20.3	1.000	117.6
Cuerpo	172.68	8.500	1.000

Tabla 3 Medidas de las extremidades superiores y el cuerpo

Extremidad	Peso [kg]	Porcentaje con base a la mano [%]	Porcentaje con base al cuerpo [%]
Brazo	2.070	3.833	32.35
Antebrazo	1.160	2.148	18.13
Mano	540	1.000	8.44
Cuerpo	63.970	118.4	1000.000

Tabla 4 Peso absoluto y relativo de segmentos del cuerpo

Para medir los parámetros de frecuencia, velocidad y aceleración angular o lineal pueden usarse diferentes dispositivos como lo son los sensores acelerómetros, giroscópicos o incluso electromiogramas para un análisis directamente del comportamiento del músculo.

La frecuencia de los temblores del Parkinson no es una cifra constante, más bien es un espectro frecuencial en el que puede variar. En el artículo *Differential diagnosis of Parkinson disease, essential tremor, and enhanced physiological tremor with the tremor analysis of EMG* se midieron las frecuencias del temblor en la mano de 25 pacientes con Parkinson en diferentes situaciones, como en descanso, manteniendo una postura y sosteniendo un peso. El espectro se encuentra entre los 4 a 6 Hz y con contracciones de dos músculos del antebrazo [44]. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos por los investigadores Zhang, Xing, Ma y Feng:

Temblores por	Descanso	Postural	Peso sostenido
Parkinson	4.52 ± 0.43	4.94 ± 0.66	5.17 ± 0.62

Tabla 5 Valores de temblores en Parkinson en diferentes situaciones

Capítulo 3: Sistemas de ayuda en el Parkinson

Con el avance del tiempo y con el mal de Parkinson incurable, los esfuerzos para enfrentar la enfermedad no se detienen. Varios dispositivos han sido desarrollados para contrarrestar un síntoma del Parkinson, a pesar de que no curen la enfermedad ni la detengan su avance, el uso de estos en la cotidianeidad, son un factor importante para mejorar la calidad de vida de los pacientes.

Los dispositivos actuales utilizan varios tipos de principios físicos, mientras que algunos optan por la supresión de los temblores por medio de la sujeción ya sea de la muñeca o el antebrazo, otros lo hacen a través de la viscosidad o amortiguación. Cada modelo ofrece una solución, sin embargo, aún tienen desventajas que impactan directamente en su accesibilidad, como lo es el precio, el propio peso o funcionalidad.

Existen procedimientos quirúrgicos que son capaces de contrarrestar en gran medida los temblores y varios síntomas del Parkinson, además de que complementan los efectos de los fármacos que son recetados por el médico, pero a medida que progresa el Parkinson, su efectividad va mermando. La Levodopa, un fármaco que ayuda al déficit de dopamina en el cuerpo, reduce la rigidez muscular, la lentitud y poca precisión en los movimientos es mejorada y puede disminuir los temblores [45].

A pesar de la mejoría por el consumo de la Levodopa, hay algunos pacientes que presentan resistencia a esta y, además, conforme se desarrolla la enfermedad, la efectividad disminuye, provocando que los síntomas regresen y en mayor intensidad [46]. Cabe mencionar que, para un buen inicio del tratamiento con Levodopa, se requiere que se vaya ajustando la dosis según los efectos secundarios que presente el paciente, como los siguientes [45]:

- Náuseas.
- Vómitos.
- Mareos.
- Movimientos involuntarios en la boca, rostro o extremidades.
- Alucinaciones y paranoia.
- Cambios en la presión arterial.
- Confusión.

3.1 Acercamiento al Parkinson

Para tener un primer contacto con la enfermedad del Parkinson, se realizó una encuesta para conocer cómo afectó la calidad de vida de los pacientes, como lo es en su movilidad, bienestar y en la forma en que se transporta.

La encuesta está orientada a quienes conduzcan un automóvil y puedan exponer cómo experiencia al volante ha sido modificada y las precauciones que toman para antes y durante la conducción. La encuesta se muestra a continuación:

Facultad de Ciencias de la Electrónica

Cuestionario sobre dificultades al conducir con temblores en las manos por Parkinson

Estudio acerca de las dificultades durante la conducción de un automóvil causadas por los temblores del Parkinson

1.- ¿Cuántos años tiene?

_____

2.- ¿Hace cuánto le diagnosticaron Parkinson?

_____

3.- ¿Cómo se dio cuenta que tiene Parkinson?

_____

4.- ¿Cuándo duerme, ha notado si los temblores en la mano siguen presentes?

_____

5.- ¿En qué situaciones comienzan los temblores?

_____

6.- ¿Actualmente es un automovilista activo?

_____

7.- ¿Cuántas horas conduce al día?

_____

8.- ¿Cuáles son los factores que agudizan sus síntomas tras el volante?

_____

9.- ¿Cómo alteran los temblores de la mano a la conducción?

_____

10.- ¿Ha necesitado ayuda de alguien más para conducir su vehículo o ser transportado?

_____

11.- ¿Cuál es el momento ideal para conducir sin dificultades por el Parkinson?

_____

12.- ¿Cuáles han sido las dificultades que ha tenido al momento de conducir su auto?

_____

13.- ¿Qué medidas toma al presentarse los temblores en sus manos mientras conduce?

_____

14.- ¿Qué precauciones toma para antes conducir?

_____

15.- ¿Ha buscado algún mecanismo o dispositivo que mejore su calidad de vida?

_____

16.- ¿Se siente preocupado de que el Parkinson pueda incapacitarlo para conducir?

_____

Aviso de privacidad

"La información confidencial y todos los derechos a la misma que han sido o serán divulgados al Receptor, permanecerán como propiedad del Divulgador. El Receptor no obtendrá derecho a ninguno, de ningún tipo, sobre la información, ni tampoco ningún derecho a utilizarla, excepto para el objeto del presente acuerdo. La divulgación de la Información confidencial no implica el licenciamiento por parte del Divulgador, que no sean los establecidos aquí."

Ilustración 10 Cuestionario sobre dificultades al conducir de automovilistas con Parkinson.

La edad de los encuestados no supera los 80 años, sin embargo, la presencia del Parkinson en la persona más joven fue de 40 años, el segundo a los 44 años mientras que el más longevo fue a los 75 años. La edad de los participantes y su respectivo tiempo de diagnóstico de Parkinson se muestra en la tabla siguiente:

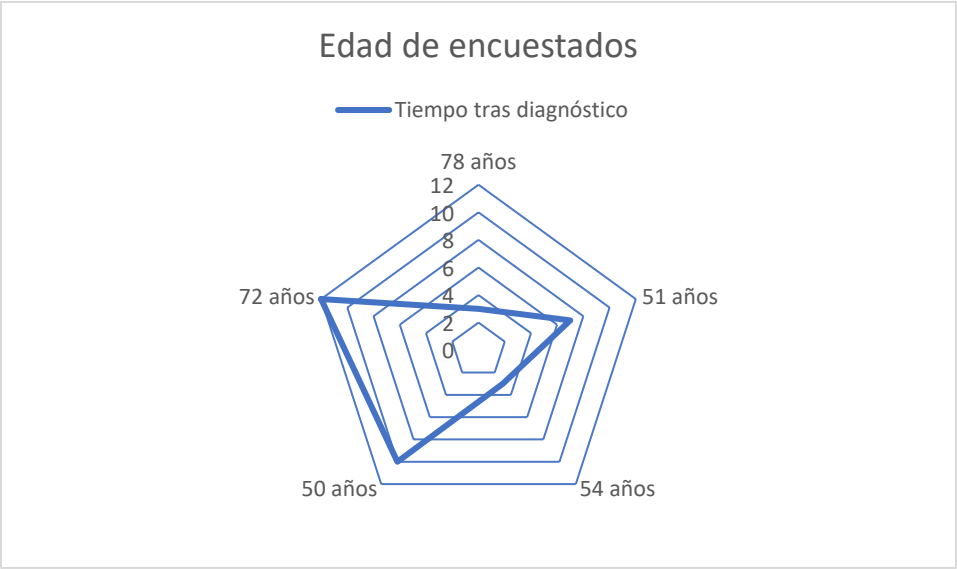


Ilustración 11 Gráfica poligonal sobre tiempos de diagnóstico y edad de los encuestados.

Al menos el 40% de los encuestados coinciden en que se dieron cuenta que tenían Parkinson directamente por diagnóstico, mientras que el 60% tuvieron sospechas al notar ciertos síntomas propios de la enfermedad como lo son movimientos involuntarios en sus manos o brazos, pérdida de equilibrio y dificultades para caminar. Después de tiempo con Parkinson han identificado ciertos detonantes para que sus síntomas aparezcan, específicamente, los temblores en la mano, siendo el predominante, el estrés. Los demás casos se muestran a continuación:

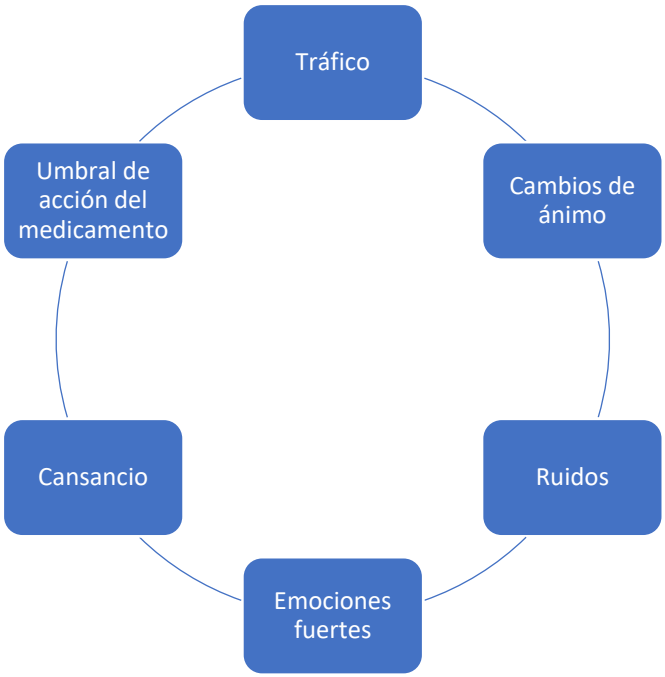


Ilustración 12 Principales detonantes de temblores en la mano según encuestados.

En el caso de estar el volante, los participantes señalaron otro tipo de factores que los puede alterar lo suficiente como para que los temblores en las manos puedan aparecer o aumentar su intensidad,

como el estrés nuevamente, sustancias como el alcohol, tráfico, la irresponsabilidad de otros conductores o incluso miedo de perder el control del vehículo lo que aumenta el nerviosismo y, por ende, los síntomas. Además del nivel de atención que implica la conducción, los temblores pueden influenciar negativamente esta actividad, como en la escaza exactitud para mover el volante, al momento de poner las direccionales, rigidez en la mano e incluso cansancio, mientras que en las extremidades inferiores hay poco control sobre el pie izquierdo que está destinado completamente al uso del clutch en vehículos de trasmisión estándar.

A pesar de las complicaciones, al menos el 60% manifestó que toma medidas extras cuando se presentan las discinesias como sujetar con mayor fuerza el volante, aumentar la rigidez del cuerpo y de la extremidad, estacionarse o definitivamente llamar a alguien más. Para mejorar su confianza tras el volante, la encuesta señala que 80% de los participantes tienen una preparación para antes de conducir, como lo son:

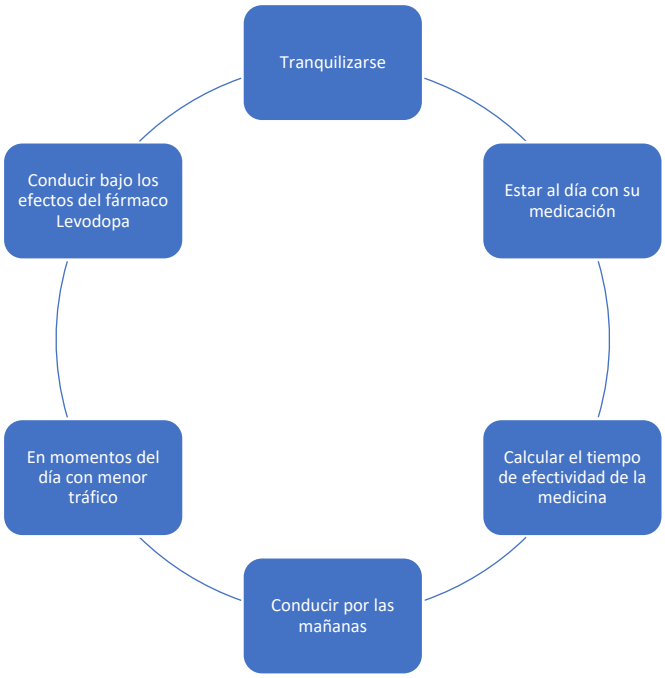


Ilustración 13 Preparaciones para antes de conducir que toman los encuestados.

De los encuestados, el 80% de ellos actualmente son automovilistas activos, el resto dejó de conducir voluntariamente, a pesar de que, ninguno ha buscado una ayuda para mejorar su calidad de vida, sí se sienten preocupados de que el Parkinson los incapacite para controlar un vehículo tomando en cuenta las horas que conducen al día con un máximo de 4 horas y con un 20% de los participantes que ya no lo hace. Las horas diarias que conducen, se muestra en la ilustración siguiente:

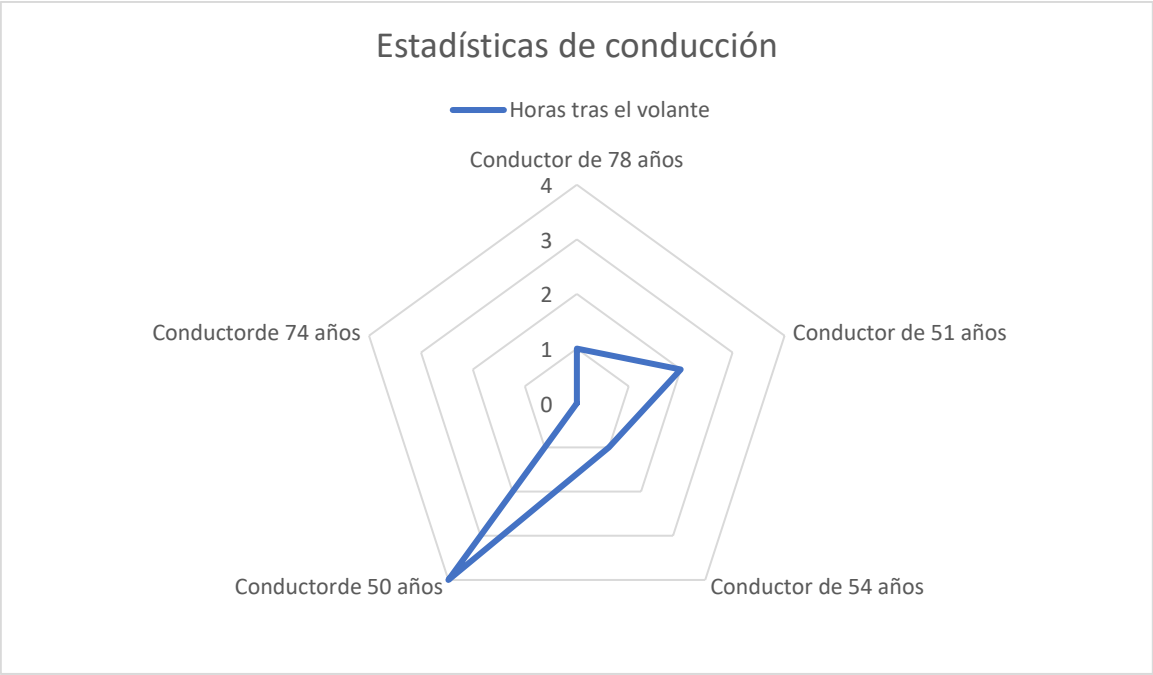


Ilustración 14 Tiempo estimado de tiempo de conducción por día según la edad de los encuestados.

3.2 Estimulación Cerebral Profunda

Otra alternativa es la estimulación cerebral profunda la cual consiste en la inserción de electrodos en el núcleo subtalámico y la parte interna del globo pálido para que por medio de impulsos eléctricos puedan regularse los síntomas de la enfermedad [47]. A pesar de que esta cirugía promete mejorías, no todos los pacientes pueden someterse a una, además, esta también resulta ser una alternativa en caso de que la medicación no tenga resultados favorables y cuando se encuentre en etapas avanzadas que es cuando los síntomas se han desarrollado y presentan una mayor intensidad [48].

Para que un paciente sea candidato para la Estimulación Cerebral Profunda es necesario cubrir los siguientes aspectos que favorezcan su éxito [47]:

- Es necesario un equipo multidisciplinario de especialidades de neurología con subespecialización en trastornos del movimiento, neurocirugía funciona, neuropsicología y psiquiatría.
- Un buen factor predictivo del beneficio de la ECP es la respuesta clínica de la levodopa como tratamiento.
- Tras una duración de 12 a 15 años de Parkinson, la ECP garantiza reducir algunos de los síntomas avanzados del trastorno y que responden a la levodopa y aquellos que no pueden ser controlados por medicamentos como lo son las complicaciones motoras.
- Está contraindicada en personas con disfunción cognitiva severa, trastornos psiquiátricos no provocados por fármacos.
- Otras contraindicaciones son la psicosis y la demencia asociada al Parkinson.
- El riesgo de complicaciones en la cirugía aumenta por las comorbilidades del paciente.

3.2.1 Funcionamiento

Mediante la inserción de electrodos en partes críticas del cerebro como lo son el núcleo subtalámico o la parte interna del globo pálido son estimuladas por medio de un generador de impulsos que estará insertado en el pecho del paciente, no obstante, aún se desconoce la manera en que los pulsos alivian los síntomas [47]. La estimulación de alta frecuencia es utilizada para modular los rangos de los picos neuronales, para conocer mejor cómo su distribución espacial, modelos computacionales sugieren que se estimula un volumen de tejido que está concentrado alrededor del electrodo activo [49].

La primera parte del procedimiento comienza con los electrodos, mientras que la segunda es el emplazamiento del generador, el cual, bajo anestesia general, bajo la piel en la región infraclavicular izquierda, el cableado de los electrodos pasa por el cuello y se conectan al neuroestimulador [47].

3.2.2 Ventajas

Tras la cirugía, el paciente puede experimentar mejorías en el Parkinson, como los siguientes [50] :

- La cirugía puede realizarse en uno o ambos lados del cerebro según sea el síntoma.
- Los efectos son reversibles y puede ser personalizados para cada estado clínico del paciente.
- La configuración de la estimulación puede modificarse para disminuirlos efectos y mejorar la efectividad de la cirugía a lo largo del tiempo.
- Provee un control continuo de los síntomas a lo largo de las 24horas del día.
- Tras recuperarse de la operación, los pacientes pueden someterse a tratamientos como terapia con células madre o genética cuando estos estén disponibles.

3.2.3 Riesgos

Algunos riesgos están presentes durante la cirugía, como lo puede ser las infecciones o complicaciones por comorbilidades, sin embargo, hay otros más a tomar en cuenta como los que se presentan a continuación [51] [50]:

- Rigidez posoperatoria.
- Convulsiones parciales.
- Confusión.
- Decremento en la fluidez verbal.
- Comportamientos maniáticos y depresivos en los primeros 6 meses.
- Malfuncionamiento del dispositivo.
- Solo los síntomas que son tratados por la levodopa presentan mejoría.
- Dolor de cabeza.

3.3 Supresión de temblores en los miembros superiores

Para la compensación de los temblores en las extremidades superiores se han diseñado y construido varios dispositivos que consiguen una mejoría en este síntoma, además de que, mientras unos se enfocan en un cierto de grupo de actividades como lo es Liftware con su cuchara que se equilibra para que el alimento se mantenga en ella [4] o EmmaWatch con un reloj vibrador que devuelve la estabilidad a la mano de la diseñadora e ilustradora Emma Lawton cuando es usado [2], los hay otros que su campo de acción es más amplio, como lo son los neuroestimuladores o las órtesis.

Podemos clasificar los diferentes dispositivos según la forma en que suprimen los temblores y a su vez qué tan invasivos resultan para el paciente:

- Órtesis
    - Exoesqueleto de extremidad superior WOTAS (*Wearable Orthosis for Tremor Assessment and Suppression*) [52].
- No invasivos y con estimulación eléctrica o muscular:
    - Cala Trio [13].
    - EmmaWatch [53].
- No invasivos sin inmovilización de la extremidad
    - Arc Pen [54].
    - Liftware [55].
    - GyroGlove [56].
- No invasivos, pero con inmovilización de la extremidad
    - TE100 [57].

3.4 Órtesis

3.4.1 WOTAS

Este dispositivo robótico fue diseñado para el monitoreo y supresión de temblor patológico, uno de sus principales objetivos es proveer una plataforma que permita la recopilación de información respecto al movimiento de la extremidad, el exoesqueleto es capaz de aplicar cargas viscosas o inerciales que cancelaran las fuerzas opuestas del movimiento tembloroso [52].

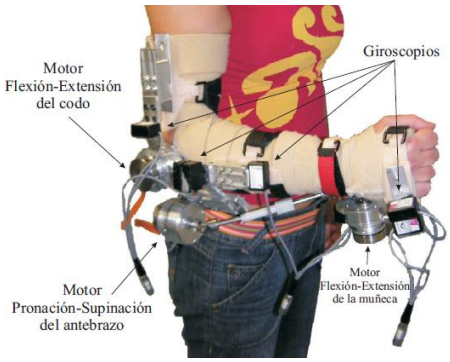


Ilustración 15 Título: Versión final de WOTAS (s.f.) Recuperado el 8 de octubre 2022 de [33] (2008) Comité Español de Automática.

Este dispositivo cuenta con tres modos de operación [52]:

- Monitorización: en este modo solo se encarga medir y caracterizar el temblor, no ocurre ninguna supresión.
- Intervención Pasiva: se suprimen los temblores mediante la aplicación de viscosidad o inercia sobre el miembro en el que está colocado, lo que mejora el movimiento voluntario.
- Intervención Activa: como en el caso anterior, también se suprimen los temblores, sin embargo, esto ahora pueden ser estimados en tiempo real por las señales temblorosas o voluntarias que son modificadas por la intensidad del temblor.

3.5 No invasivos y con estimulación eléctrica o muscular

3.5.1 Cala Trio

El Cala Trio funciona por medio de pequeñas descargas eléctricas en los nervios medial y radial los cuales son los responsables de los temblores, es así como el dispositivo con forma de pulsera proporciona una terapia de neuromodulación que se calibra según las necesidades del usuario [58]. Para que pueda ser utilizado es necesario que el médico recomiende Cala Trio, cabe mencionar que fue diseñado para suprimir los temblores esenciales, pero no para los del Parkinson [13].

Ilustración 16 Título: Cala Trio (s.f.) Recuperado el 8 de octubre 2022 de [33] (2019)

3.5.1.1 Desventajas

Los usuarios de Cala Trio han reportados efectos adversos, siendo los más comunes los siguientes [13]:

- Irritación de la piel.
- Quemaduras debido a la estimulación eléctrica.
- Enrojecimiento o comezón en la zona de contacto del dispositivo con la piel.

3.5.2 Emma Watch

En respuesta a un documental de *The Big Life Fix* la directora de innovación Haiyan Zhangy su equipo diseñaron una pulsera que contrarrestaba los temblores de Parkinson que la diseñadora y directora creativa Emma Lawton sufría e impedían dibujar, habilidad fundamental en su carrera [53].

A pesar de que se desconoce cómo modifica el dispositivo a los temblores, sí se conoce su funcionamiento, este se vale de vibraciones que cumplen como ruido blanco que interrumpen el circuito de retroalimentación sensorial que relaciona a la percepción del movimiento y la posición del cuerpo, para que el cerebro no reaccione a los estímulos y "considere" que no es necesario una corrección del movimiento de las manos [59].

Ilustración 17 Título: Emma Watch (s.f.) Recuperado el 8 de octubre 2022 (2017) Microsoft

3.5.2.1 Desventajas

A pesar de que se han obtenido buenos resultados en la supresión de los temblores, no hay planes de que el dispositivo esté disponible para su venta al público, además, de que Emmawatch, fue el único en su tipo y tanto su diseño como caracterización fueron hechos especialmente para Emma Lawton en una etapa temprana y a la edad de 29 años [59].

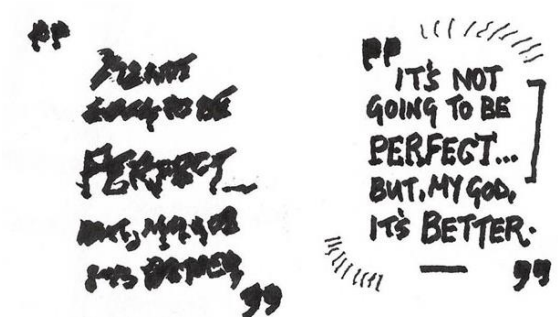


Ilustración 18 Título: Escritura de Emma Lawton antes y durante el uso de Emma Watch (s.f.) Recuperado el 8 de octubre 2022 (2017) Microsoft.

3.6 No invasivos sin inmovilización de la extremidad

3.6.1 Arc Pen

Una de las habilidades que son afectadas por el Parkinson es la escritura, si bien los temblores alteran la precisión, también se puede sufrir de micrografía: escribir letras muy pequeñas, inclinadas o ilegibles [60]. Debido a es, la empresa *Dopa Solutions* desarrolló *Arc Pen*, el cual es un lapicero que a través de la vibración a alta frecuencia de motores, es capaz de estimular los músculos de la mano encargados de la caligrafía de modo que reducen el esfuerzo necesario para desplazar el instrumento a lo largo del papel y gracias que ha sido probado por catorce personas con síntomas de micrografía, se encontró una mejora del 86% en los trazos [54].

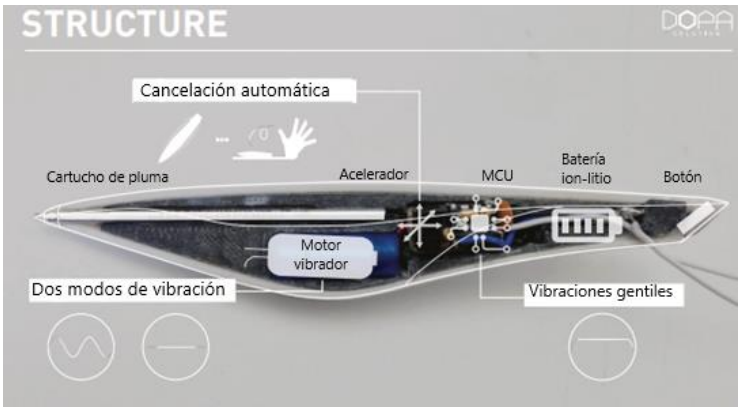


Ilustración 19 Título: ARC Pen structure (s.f.) Recuperado el 9 de octubre 2022 Dopa Solution.

3.6.2 Liftware

El Parkinson afecta a actividades cotidianas de las que uno no se percataría cuán importantes y sencillas son, este es el caso de alimentarse, específicamente, la acción de llevar comida a la boca por medio de los cubiertos. Al presentarse los temblores, mantener en una posición fija una cuchara con comida resulta complicado, comenzando desde recogerla y transportarla, así que, para

solventar esta problemática Liftware diseñó cucharas que son capaces de cancelar los temblores de las manos cuando son usadas [55].

El funcionamiento del dispositivo consiste en primera instancia de detectar el movimiento de la mano por medio de sensores, mismos que enviarán la información a una computadora para diferenciar entre un temblor o comportamientos normales, en el primer caso, se activarán dos motores que girarán en sentido opuesto para contrarrestarlos [61].

Ilustración 20 Título: Tenedor Liftwear. (s.f.) Recuperado el 9 de octubre 2022 de: Liftware by verily.

3.6.3 GyroGlove

La tecnología detrás de GyroGlove son los giroscopios. Estos por medio de la inercial rotacional y la conservación del momento angular son capaces de reducir la intensidad de los temblores de las manos [56].

Ilustración 21 Título:Gyroglove. (s.f.) Recuperado el 9 de octubre 2022 de: GyroGear.

3.6.3.1 Desventajas

Gyroglove aún se encuentra en etapa de desarrollo y con sede en Londres, el acceso a esta tecnología sería difícil de llegar para personas de bajos recursos.

3.7 No invasivos, pero con inmovilización de la extremidad

3.7.1 TE100

Otra alternativa que se puede encontrar son las férulas, en este caso, se presenta el TE100 que agrega un alma de aluminio maleable junto con un dispositivo amortiguador a nivel de la articulación de la muñeca y almohadillas para la transpirabilidad y el confort, además dentro de sus efectos, podemos encontrar los siguientes [57]:

- El temblor esencial se reduce gracias a la amortiguación de la férula, lo que favorece al movimiento voluntario.
- La posición cubital de la articulación permite movimiento funcional de la mano.
- Favorece a la calidad de vida del paciente.

Ilustración 22 Título: TE100 TREMED Férula para el temblor esencial. (s.f.) Recuperado el 9 de octubre 2022 de: EMO especialistas en ortopedia.

3.8 Autonomía vehicular

La primera clasificación sobre autonomía vehicular fue realizada por la NHTSA por sus siglas en inglés (*National Highway Traffic Safety Administration*) [62]. Con una escala de 0 a 4 para el menor el número la carencia absoluta de sistemas de asistencia al conductor y para el mayor, un vehículo que no requiera de la intervención humana para su conducción, la clasificación tiene el enfoque de evaluar las capacidades del vehículo para conducir por sí mismo [62].

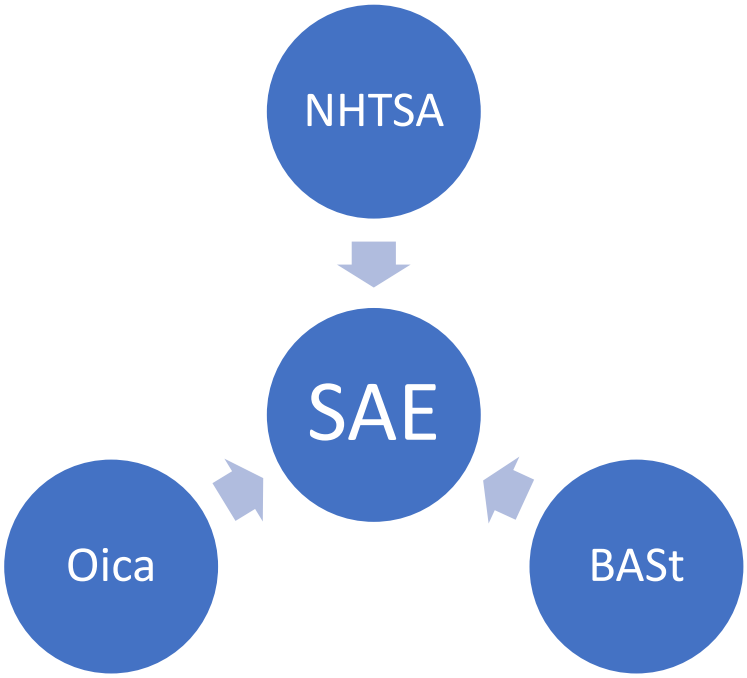


Ilustración 23 Clasificaciones de distintos niveles de conducción autónoma con SAE siendo referente internacional.

BASt (Federal Highway Research Institute) en vez de ordenar los estratos de autonomía por números, eligió una nomenclatura, la cual se muestra a continuación [63]:

- Solo conductor: el conductor durante todo el trayecto del vehículo se encarga de la trayectoria lateral gracias al volante y de controlar el desplazamiento longitudinal por medio del acelerador y freno.
- Asistido: el conductor puede encargarse ya sea del desplazamiento longitudinal o lateral del vehículo. Hay otras tareas de las que el sistema de asistencia monitorea. Sin embargo, el conductor debe revisar constantemente el sistema y estar preparado para tomar control total del automóvil en cualquier momento.
- Autonomía parcial: por cierto tiempo, el sistema se encarga del control longitudinal y lateral del vehículo. Cabe mencionar que el conductor aún se encuentra en permanente estado de alerta para tomar el control del vehículo en cualquier momento y debe estar siempre monitoreando el sistema.

- Autonomía avanzada: el sistema se encarga del control longitudinal y lateral del vehículo por cierto tiempo y en situaciones especiales, sin embargo, la dedicación total de la atención del conductor al sistema ya no es necesaria, en dado caso que se requiera tomar control del automóvil, se tiene un periodo de tiempo para hacerlo sin que haya peligro.
- Autonomía integral: el sistema toma control total del movimiento longitudinal y lateral, no se requiere que el conductor monitoree el sistema, hay un tiempo considerable para que el conductor retome el dominio del auto, el sistema es capaz de regresar a un estado de riesgo mínimo y en caso de que el conductor no retome el control del vehículo cuando es necesario, entonces el sistema es capaz de devolver al vehículo a un estado de riesgo mínimo.

Oica y después de un tiempo la NHTSA decidieron acoplarse a la clasificación de la SAE (Sociedad de Ingenieros Automotrices) clasificar la autonomía vehicular en cinco niveles, además de que agrega tres nuevos actores primarios en la conducción: el usuario (humano), el sistema de automatización de manejo y lo demás sistemas y componentes del vehículo [64].

Los niveles que establece SAE son los siguientes:

- Nivel 0: sin automatización en la conducción.
- Nivel 1: asistencia al conductor.
- Nivel 2: Automatización de conducción parcial.
- Nivel 3: Automatización de conducción condicional.
- Nivel 4: Nivel de automatización alto.
- Nivel 5: Automatización de conducción completo.

Mientras que los primeros tres niveles de autonomía aún el usuario está implicado en el control del auto y es necesaria la supervisión constante a los sistemas de asistencia, además de que aún está a su disposición el volante, acelerador y freno. No obstante, para los posteriores niveles, no conductor no estará conducción cuando los sistemas de conducción autónoma estén activados, si bien en el nivel 3 el sistema indica cuándo el usuario debe retomar el control, los siguientes sistemas no requieren al conductor [65].

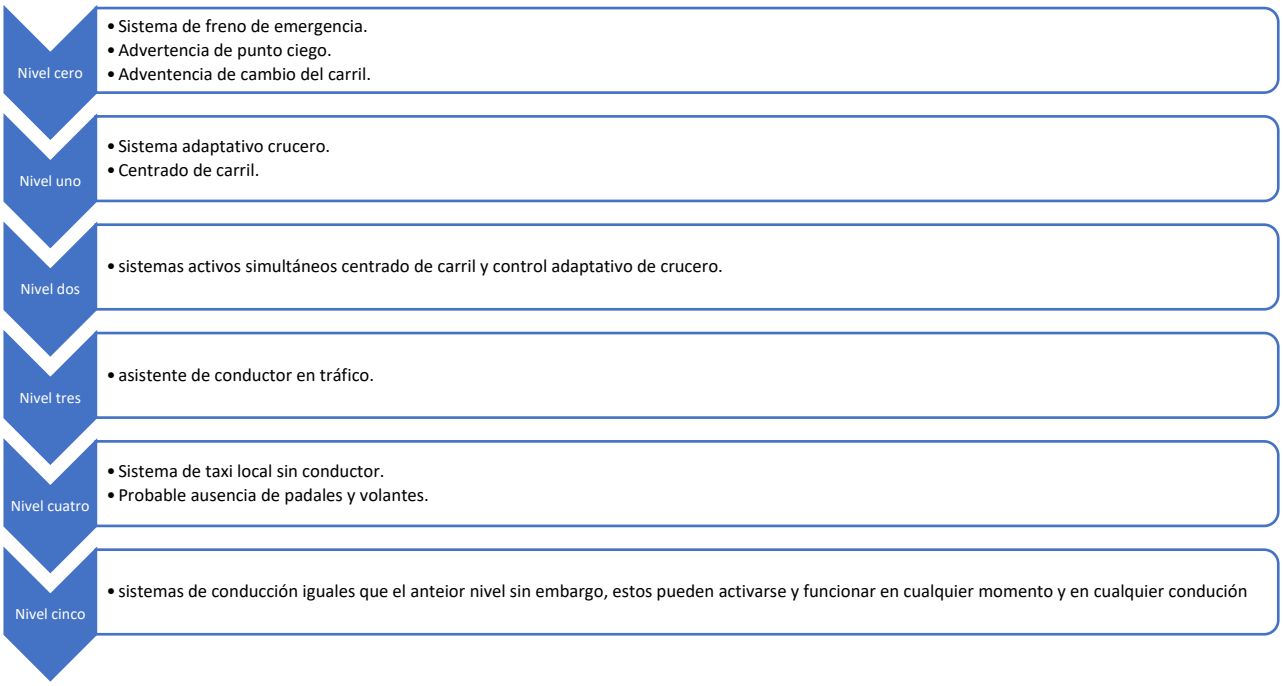


Ilustración 24 Ejemplos de sistemas de asistencia y de conducción autónomos en los niveles de autonomía proporcionados por la SAE en la clasificación SAE J 3016.

3.9 Impacto del dispositivo en la conducción

Con lo mencionado anteriormente en el capítulo 3.8 sobre autonomía vehicular, el dispositivo compensador de temblores de Parkinson en la mano se contempla para uso en vehículos con una autonomía de 0 a 1 según la clasificación de SAE J 3016 [65]. Estos son aquellos autos antiguos, que carezcan de sistemas de asistencia al conductor para los de nivel más bajo, mientras, el nivel 1, se contemplan aquellos que puedan contar con un sistema Crucero o incluso de aparcamiento. Para los posteriores, el compensar tiende a ser innecesario debido al gradual decremento de la interacción del conductor con el automóvil. Como el caso del nivel 3 el cual es actualmente lo más lejos que han llegado los vehículos modernos en autonomía, para el caso de los últimos dos niveles, solo hay prototipos y algunos otros en etapa de desarrollo.

En apoyo con la encuesta realizada que se hizo mención en el capítulo 3.1 Acercamiento al Parkinson, se tomó en cuenta para el diseño del dispositivo mejorar la estabilidad de la mano para que los usuarios pudieran dirigir sus manos para accionar ya sea las palancas direccionales o los controles que estas traen como lo son la activación de plumas limpiaparabrisas o esparcimiento de líquido limpiador del mismo, encendido de luces frontales y posteriores ya sea por switch o perilla, además del uso de los controles de info-entretenimiento o los controles de temperatura dentro del habitáculo incluso en el manejo de la palanca de velocidades así sea un auto con transmisión automática o manual.

Capítulo 4: Diseño de la propuesta para el sistema de ayuda análisis y resultados

4.1 Condiciones para medición de temblores

Las mediciones se apoyaron en las investigaciones de *Differential diagnosis between Parkinson's disease and essential tremor using the smartphone's accelerometer* [66], la cual se apoya en el análisis y sensado de la aceleración lineal, la energía de la propia de la señal para después utilizar el software Matlab y *SPSS* (*Statistical Package for the Social Sciences*) para el análisis estadístico. El estudio consistió en utilizar el sensor giroscópico triaxial del smartphone Iphone 5S por medio de una aplicación, este dispositivo fue acoplado en el dorso de la mano. Cabe mencionar que el tiempo de captura de información fue de 30 segundos para dos tipos de situaciones: una con el brazo en reposo, mientras que el otra, después de extender el brazo.

Para este primer modelo del compensador, se considera tomar en cuenta las unidades físicas de aceleración, velocidad y desplazamiento lineal, los cuales pueden ser medidos por giroscópicos de smartphones y también por sensores acelerómetro-giroscopio como lo es el Mpu6050. La medición de estes valores es fácil de hacerse puesto que evita el uso de dispositivos invasivos además del tipo de estrategia para reducir la magnitud de estos. Tal es el caso de los electrodos para medir biopotenciales [67] como los generados por los músculos que implica el uso de electrodos superficiales adhesivos que con el tiempo van perdiendo su adherencia, pueden deteriorarse con mayor rapidez y requieren de condiciones de uso específicas, como bajos niveles de humedad o cuidados extra para prolongar su vida útil [68].

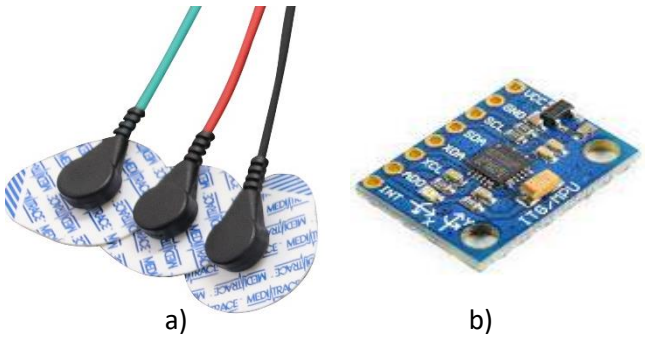


Ilustración 25 Electrodos superficiales adheribles a). Sensor MPU6050 acelerómetro b).

La elección de sensores mejorará no solo la comodidad para usar el dispositivo, sino también para que usuario no requiera acomodar constantemente los sensores como lo sería con los electrodos, además de que las lecturas podrán realizar en diversas ambientes y situaciones sin que haya alteraciones en los valores. Los valores que recopilará el acelerómetro podrán ser tratadas para una segunda fase del dispositivo en la cual podrá incluirse un sistema de control. La obtención de valores de aceleración, velocidad y desplazamiento ya sean lineales o angulares resulta más sencillo, práctico y sin que el usuario requiera de su supervisión a comparación de sensar biopotenciales como las señales eléctricas de los músculos de la mano o en antebrazo ante la presencia de un temblor por Parkinson.

4.2 Análisis de los temblores

Para realizar el análisis de compensación de temblores, fue necesario modelar las vibraciones en Matlab debido a que la contingencia dificultó la posibilidad de medirlas directamente a personas de la tercera edad. Para simular las vibraciones, se tomó como valores de referencia las frecuencias de oscilaciones medias de los temblores, a pesar de que cada persona las experimenta diferente, estas sí se encuentran en un espectro definido de entre un espectro de 4 a 6 Hz [44], los resultados para más casos se encuentran en la tabla 4.

En la imagen siguiente se pueden apreciar las ondas sinusoidales según el estado de la persona, desde estar en descanso, manteniendo una postura o durante el movimiento.

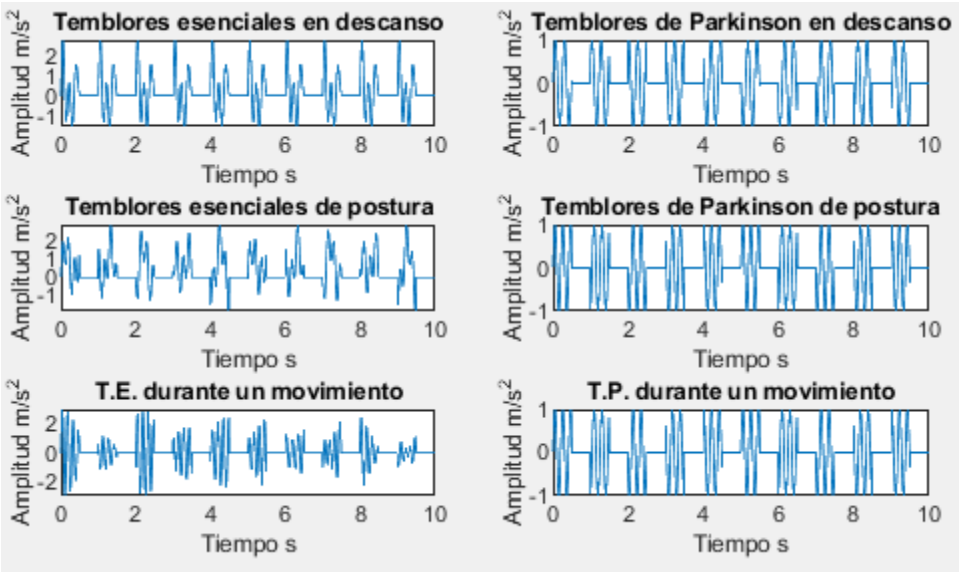


Ilustración 26 Ondas sinusoidales de temblor de Parkinson según el estado de la persona: descanso, en postura, en movimiento.

Se tomaron dos frecuencias para cada caso, las cuales se pueden apreciar en la tabla siguiente:

Caso	Frecuencias [Hz]	
Descanso	5.8	4.1
En postura	5.8	4.8
En movimiento	4.1	4.8

Tabla 6 Frecuencias dentro del espectro de temblores del Parkinson.

Conforme se agreguen más funciones sinusoidales con frecuencias diferentes, las gráficas tendrán picos más altos y con un mayor número de oscilaciones como se puede apreciar a continuación con una componente sinusoidal con frecuencia de 6 Hz:

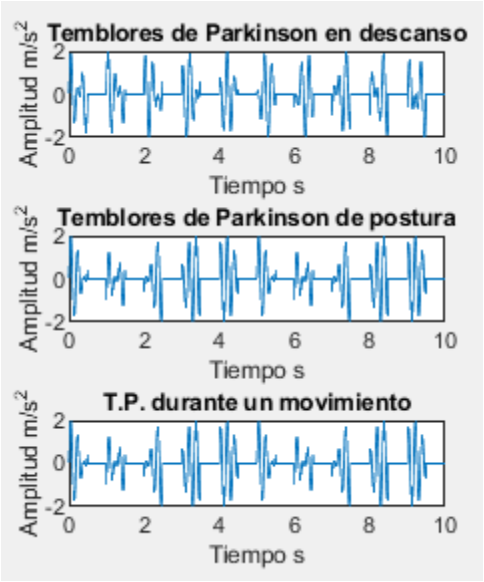


Ilustración 27 Ondas sinusoidales con componente sinusoidal de 6Hz.

O con componente extra de 5 Hz:

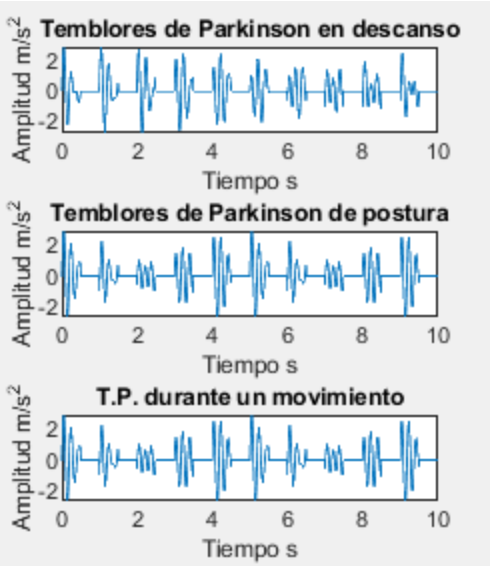


Ilustración 28 Ondas sinusoidales con componente sinusoidal de 5Hz.

Para probar el funcionamiento en simulación del compensador, son necesarios dos modelos, uno de una mano con muñeca y otro de una mano con antebrazo para que este pueda ser acoplado en ellos. En esta tesis solo se presenta el primer modelo de una mano con muñeca ya que el segundo modelo se dejará para trabajo a futuro.

4.2 Diseño del modelo de mano

Para tener una referencia acerca de dimensiones de las manos, fue utilizado el estudio de Aspectos biométricos de la mano de individuos chileno [69] debido a la carencia de investigaciones mexicanas de biometría en manos mexicanas. Tomando en cuenta esta ausencia de datos se procedió a realizar una encuesta de manos mexicanas en las cuales se tuvieron como resultados preliminares de los cuales tenemos 406 mediciones de manos mexicanas, 200 son manos masculinas, 206 son manos femeninas y se hizo una análisis de edad, procedencia, así como las mediciones de longitudes y ancho, todos estos datos dieron a la generación de un artículo que lleva por nombre: " Medición de características antropométricas de manos mexicanas en el rango de edad productiva", el cual fue enviado a la revista International Journal of Morphology, del cual se espera respuesta.

	Longitud de la mano [mm]	Longitud del pulgar	Longitud del dedo índice	Longitud del dedo medio	Longitud del dedo anular	Longitud del dedo meñique
Mujeres	167.6	63.5	91.0	100.4	94.4	75.8
Hombres	184.9	72.5	104.2	115.0	109.1	88.5

Tabla 7 Longitudes de la mano derecha de hombres y mujeres chilenos tomados de Aspectos Biométricos de la mano de individuos chilenos [46].

Para las dimensiones de las manos y los dedos, se tomó como referencia las medidas promedio del estudio, sin embargo, aún no se contaba con el diámetro de los dedos ni el ancho de la mano, así que será necesario medir la mano de una persona y a partir de esto realizar el modelo en SolidWorks.

Se mesuró la mano izquierda de un voluntario de 24 años con un vernier, comenzando desde la muñeca hasta el inicio de los dedos, después las falanges, el diámetro de cada dedo y finalizando con el ancho y largo de la mano. Las medidas se encuentran en la tabla siguiente:

	Longitud de la palma de la mano	Ancho de la mano	Largo de la mano
Medidas [cm]	11.5	2.5	7.8

Tabla 8 Medidas de la mano. Elaboración propia.

	Falanges/Dedos	Meñique	Anular	Medial	Índice	Pulgar
Longitud [mm]	Distal	21.0	25.0	25.0	27.0	21.0
	Medial	18.0	26.0	30.0	21.0	--
	Proximal	23.0	29.0	30.0	24.0	39.0
	Total	62.0	80.0	85.0	72.0	60.0
	Diámetro	18	18	18	18	22

Tabla 9 Longitud de dedos y falanges. Elaboración propia.

Con la información obtenida, se realizó un modelo en Solidworks de la mano izquierda el cual se muestra en la imagen siguiente:

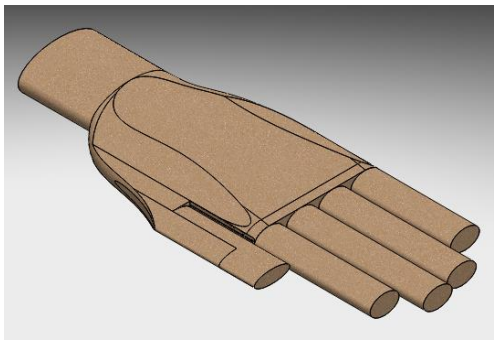


Ilustración 29 Vista isométrica.

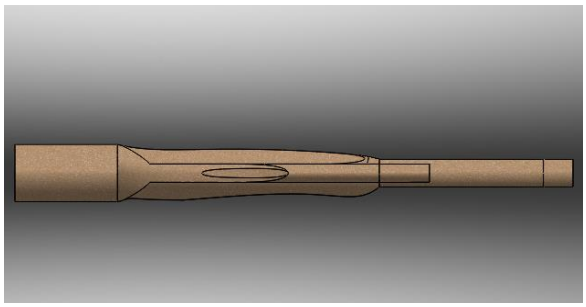


Ilustración 30 Vista lateral.

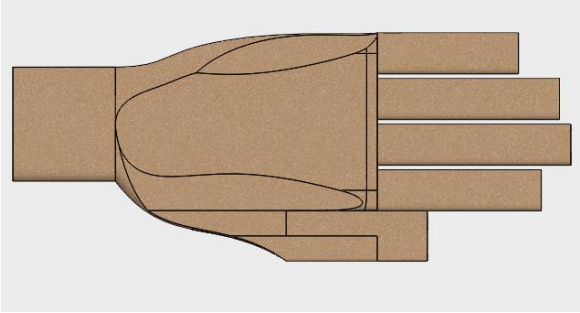


Ilustración 31 Vista superior.

Para la extensión del antebrazo, las medidas fueron las mismas que el ancho de la pulsera para que pueda ser acoplada. Finalmente, el modelo renderizado se muestra en la ilustración siguiente:

Ilustración 32 Modelo de la mano izquierda renderizado, vista isométrica.

Hay estudios que indican que el peso de las extremidades está relacionado con el peso total del cuerpo como lo es el de Plagenhoef [42], como la masa corporal de las personas está en constante cambio y el promedio del peso está definido según la cantidad de personas y sus propias masas corporales, se considerarán los porcentajes de Plagenhoef para establecer la masa de la mano en la simulación para un individuo hombre de 84 kg, los cuales se muestran a continuación en la siguiente tabla:

Segmento	Porcentaje entre cuerpo y segmento	Masa [g]
Mano	0.65%	546.0

Tabla 10 Masa de segmentos y porcentajes de Plagenhoef.

4.3 Diseño de la pulsera y elección del material de sujeción para el dispositivo

Agregando en Solidworks, tenemos las siguientes propiedades físicas según el material definido para la mano:

Propiedades físicas			
Densidad [$\frac{gr}{cm^3}$]	Masa [gr]	Volumen [cm^3]	Área de superficie cm^2
2.13	546.00	256.32	456.34

Tabla 11 Propiedades físicas del modelo de la mano.

El paso siguiente es elegir el material para las partes del compensador, como lo es la correa, la base y la estructura del propio giroscopio. Para el caso de la correa, se ha elegido velcro por su precio y facilidad de usar. Este estará colocado en los laterales del compensador para fijarlo a la muñeca.

Ilustración 33 Pulsera del compensador

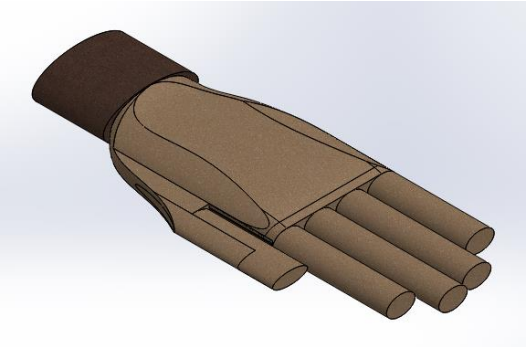


Ilustración 34 Modelo de la mano izquierda con pulsera del compensador.

Para asegurar el dispositivo a la muñeca, fue elegido el velcro debido a su versatilidad, precio y facilidad para modificar la fuerza de sujeción. El velcro es una tira de nylon que consta de dos partes, una llama Hook que son fibras rígidas curveadas, mientras que, la otra es un tejido suave, debido a esta disparidad, pueden juntarse para crear un sistema de cierre gancho-bucle [70]. Las principales características del velcro son:

- Alta resistencia al calor.
- Alta resistencia a la migración plástica.
- Buena adherencia.
- Puede ser cortado para modificar su forma.
- Liviano.

Ilustración 35 Cinta de velcro con adhesivo en la parte trasera.

Para la base y carcasa del compensador, se ha elegido poliestireno (PS) como material para su construcción, este polímero puede proteger de impactos debido a su alta resistencia, brindando protección al compensador y una estructura sólida para su acoplamiento, también el poliestireno tiene gran adaptabilidad para ser usado en diversos objetos y aplicaciones como lo son [71]:

- Envases.
- Embalajes.
- Protección para componente electrónicos, ordenadores y aparatos de audio y video.
- Ofrece garantías de higiene y aislamiento térmico para productos farmacéuticos.
- Es utilizado para la creación de juguetes infantiles.
- Es un polímero que puede ser reciclado.

El poliestireno está clasificado con el número 6 del Código de Identificación para Plásticos.

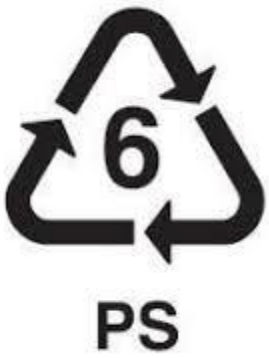


Ilustración 36 Código de clasificación de plásticos del poliestireno

4.4 Diseño del dispositivo compensador de temblores

Apoyados en la inercia rotacional y la ley de la conservación del momento angular, se diseñó un dispositivo que, por medio de la rotación de un disco, podrá disminuir los temblores del Parkinson, el material del disco será de acero aleado fundido.

La imagen 31 muestra el diseño final de la pulsera con el compensador ensamblado con una transparencia en la carcasa para observar el interior y en una vista isométrica.

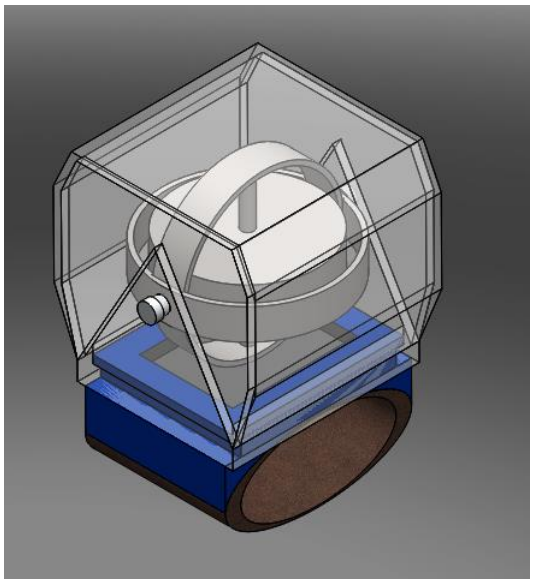


Ilustración 37 Compensador con pulsera. Vista isométrica.

La imagen siguiente es la misma que la anterior, sin embargo, la vista cambió a frontal para apreciar en una nueva perspectiva cómo están ordenadas las piezas y la ausencia de colisiones entre la carcasa con el giroscopio y este mismo con sus discos y aros.

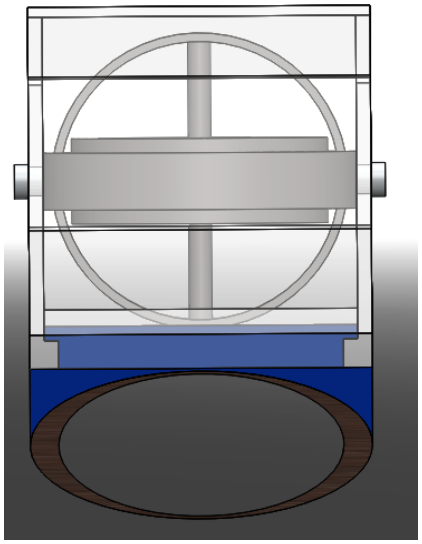


Ilustración 38 Compensador con pulsera. Vista frontal.

Las piezas del compensador son las siguientes:

- Pulsera: esta se encarga de ajustarse a la muñeca y además tiene consigo un soporte para acoplar la base del compensador.
- Base del compensador: esta pieza es la que sirve de acoplamiento para el soporte de la pulsera y la carcasa en conjunto con el giroscopio. A los costados tiene dos perforaciones en las que estará asentado el giroscopio.
- Carcaza del compensador.
- Dos Tuercas: ambas piezas son necesarias como rodamientos para que el giroscopio pueda girar hacia el frente o atrás.
- Dos aros del giroscopio: estos dos sirven como soportes para que el giroscopio pueda girar sobre sí mismo y además como elementos de fijación para la base del compensador.
- Giroscopio: constituido por un disco y dos ejes que permitirán la rotación y el acoplamiento a los soportes que proporcionan los dos aros.

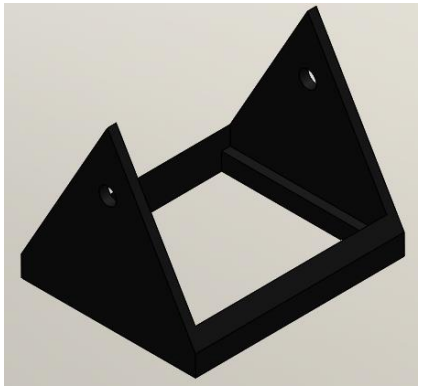


Ilustración 39 Base del compensador.

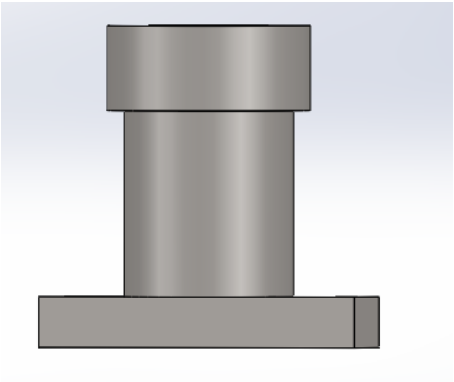


Ilustración 40 Tuerca de sujeción de la base y giroscopio.

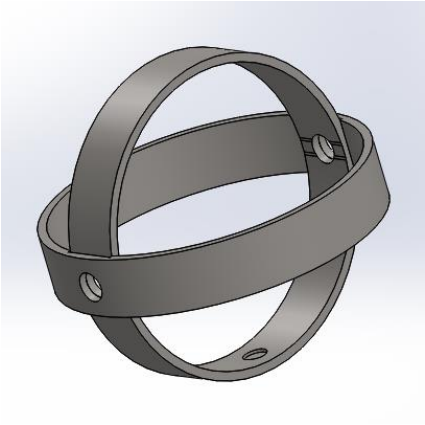


Ilustración 41 Anillos del giroscopio.

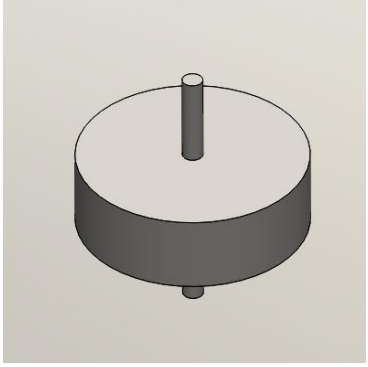


Ilustración 42 Giroscopio.

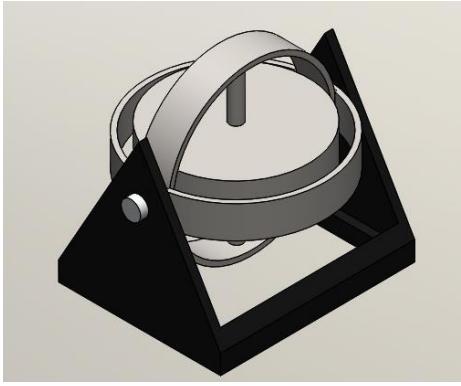


Ilustración 43 Base y giroscopio.

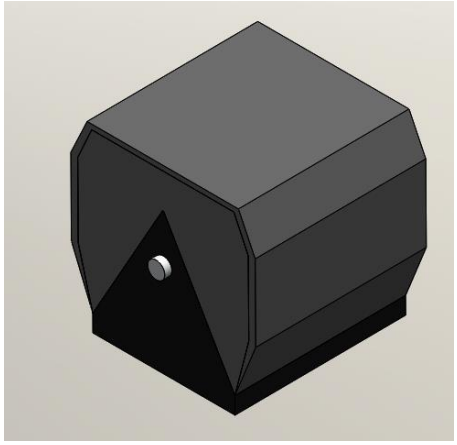


Ilustración 44 Compensador cubierto

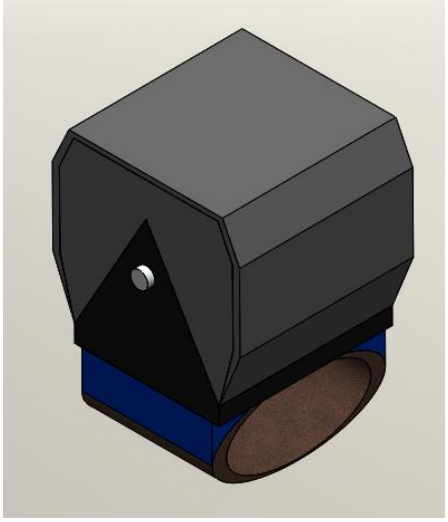


Ilustración 45 Pulsera compensadora

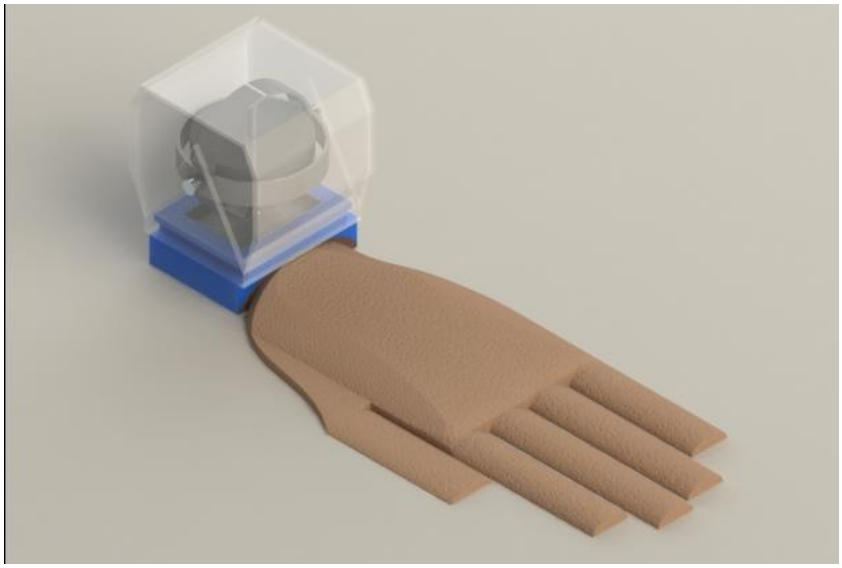


Ilustración 46 Mano izquierda con compensador acoplado renderizados.

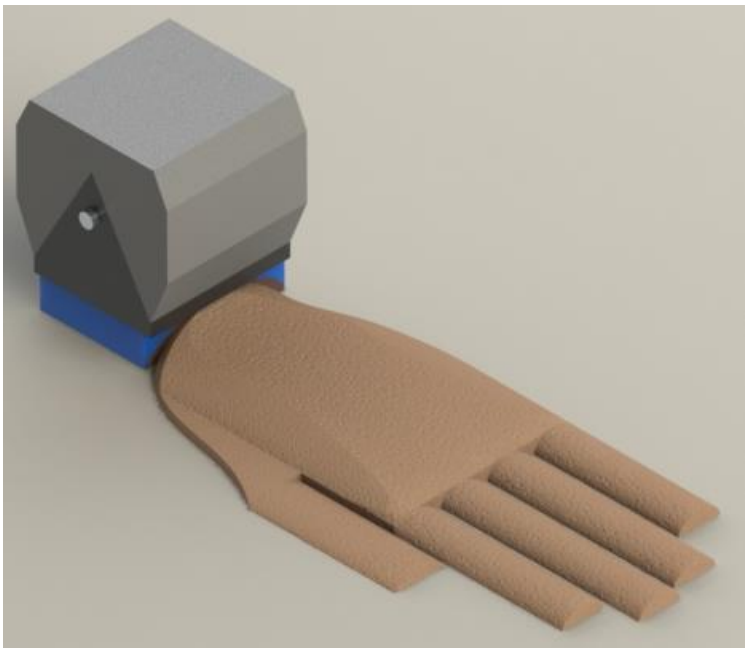


Ilustración 47 Mano con compensador completo.

4.5 Nivel de madurez tecnológica

Es importante establecer el nivel de desarrollo tecnológico en el cual se encuentra el dispositivo para poder conocer los aspectos que cumple y, además, cuáles son los siguientes parámetros para mejorar e incrementar la madurez del prototipo, para tener una propuesta mejor consolidada.

CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología) considera nueve niveles para la madurez de la tecnología [72] o TRL por sus siglas en inglés (*Technology Readness Level*), los cuales se mencionan a continuación:

- Desarrollo de la invención: considera los niveles uno y dos del TRL, el primero abarca la investigación y los principio observados y reportados; el siguiente, la investigación de laboratorio, concepto tecnológico y/o aplicación tecnológica formulada y finalmente la investigación aplicada.
- Validación de concepto: nuevamente con dos niveles siguientes, es necesario cubrir la investigación de laboratorio y prueba experimental de concepto los cuales serán la primera evaluación de factibilidad de un concepto y su tecnología. Para el cuarto nivel, ya entra el desarrollo y la validación tecnológica a nivel laboratorio.
- Desarrollo de prototipo: este aspecto cuenta con un único nivel, contando con el desarrollo tecnológico, su validación en laboratorio que contemplen un entorno relevante que simulen las condiciones existentes en un entorno real.
- Producción piloto y demostración: los niveles seis y siete son respaldados por la demostración tecnológica desarrollada en un ambiente relevante para la pre-producción de un producto, incluyendo pruebas experimentales en un ambiente real. Además, es necesario el desarrollo y la demostración del prototipo a nivel sistema en un ambiente operativo real, con producción a baja escala para su demostración.
  Introducción inicial al mercado: el octavo nivel contando con el desarrollo del producto y el sistema completo y evaluado, se debe cumplir ahora con la manufacturabilidad probada y validad para ambiente real y el sistema completo y certificado, además, del producto o servicio comercializable.
- Expansión de mercado: el noveno nivel es el productor terminado, avalado por pruebas con éxito en entorno real y ahora su despliegue. La tecnología estará disponible en el mercado y tendrá una aplicación comercial.

A continuación, se muestra en la imagen siguiente la encuesta resuelta para evaluar el grado comercial del diseño:

Nivel de Madurez de Tecnológica (TLR)		Elementos clave	ID	Parámetros esperados al final de la etapa. Si no ha cumplido con los siguientes aspectos, se encuentra en un nivel inferior del TRL	Conteste sí o no
Desarrollo de la invención	1	**Investigación básica.** **Principios básicos observados y reportados.** Artículos científicos publicados sobre los principios de la nueva tecnología.	1	¿Finalizó con la investigación básica de su idea?	Sí
			2	¿Identificó principios de investigación básica que pudieran trasladarse en principios nuevos que puedan ser utilizados en nuevas tecnologías?	Sí
	2	**Investigación de Laboratorio.** **Concepto tecnológico y/o aplicación tecnológica formulada. Investigación aplicada.** Publicaciones o referencias que subrayan las aplicaciones de la nueva tecnología. Inicio de la invención.	1	¿Realizó un análisis de los artículos científicos, modelos o teorías científicas que respaldan la aplicación de la idea en algún área tecnológica?	Sí
			2	¿Realizó estudios de búsqueda y análisis de patentes a nivel nacional e internacional, y los resultados indicaron que no existe un desarrollo igual a su idea? (benck mark tecnológico)	Sí
			3	¿Ha explorado principios básicos de manufacturabilidad?	No
			4	¿Ha explorado posibles usuarios de la invención?	Sí
			5	¿Cuenta con un grupo de investigación que pueda facilitar la evaluación inicial de factibilidad de la tecnología?	Sí
			6	¿Tiene contemplado un plan de licenciamiento de tecnología a terceros?	Sí
Validación de concepto	3	**Investigación de Laboratorio. Prueba experimental de concepto** Primera evaluación de la factibilidad de un concepto y su tecnología.	1	¿Tiene identificados los componentes de su invención tecnológica?	Sí
			2	¿Ha llevado a cabo algún proceso de validación de mercado sobre su invención? (I+D en laboratorio más primeras pláticas con posibles usuarios)	No
			3	¿Realizó/actualizó estudios de búsqueda y análisis de patentes a nivel nacional e internacional, y los resultados indicaron que no existe un desarrollo igual a su idea? (benchmark tecnológico)	Sí
			4	¿Los resultados de la búsqueda y análisis de patentes indicaron que la invención puede ser protegida mediante algún mecanismo de protección?	Sí
			5	¿Ha realizado un estudio sobre los aspectos regulatorios (comités de ética, normas, ISO´s, y certificaciones) que son requeridos para su invención tecnológica?	No
			6	¿Tiene contemplado un plan de licenciamiento de tecnología a terceros?	Sí
	4	**Desarrollo Tecnológico.** **Validación tecnológica a nivel laboratorio** Validación de un prototipo inicial con componentes integrados en laboratorio con baja confiabilidad de comportamiento.	1	¿Ha integrado los componentes principales de su invención tecnológica?	No
			2	¡Ha realizado pruebas de validación de efectividad de dicha invención en laboratorio?	No
			3	¿Ha explorado con mayor profundidad aspectos / certificaciones de manufacturabilidad relacionados con el desarrollo de su invención tecnológica?	No
			4	¿Ha continuado la validación de mercado de su invención con más entrevistas con usuarios potenciales y estudios de mercado?	No
			5	¿Su invención tecnológica funciona a nivel laboratorio?	No
			6	¿Identificó los riesgos tecnológicos de mercado y financieros con un plan de mitigación de los mismos?	No
			7	¿Actualizó el estudio de patentes nacionales e internacional, y tiene definida una estrategia de gestión de la propiedad intelectual? (benchmark tecnológico)	No
			8	¿Tiene contemplado un plan de licenciamiento de tecnología a terceros?	Sí
Desarrollo de prototipo	5	**Desarrollo Tecnológico.** **Tecnología <u>validada</u> en laboratorio pero en condiciones de un entorno relevante (condiciones que simulan condiciones existentes en un entorno real)**. La integración de los componentes empieza a ser de alta confiabilidad. Para el caso de plataformas tecnológicas, el ambiente relevante debe considerar condiciones industriales, no de laboratorio experimental académico.Proceso de planeación del negocio	1	¿Ha probado su prototipo en laboratorio en condiciones de un ambiente real?	No
			2	¿Tiene plenamente identificadas y considerados aspectos de manufacturabilidad del futuro producto?	No
			3	¿El prototipo a escala real cumple con las normas y/o previsiones legales o del medio ambiente del sector?	No
			4	¿Actualizó el estudio de patentes nacionales e internacional, y tiene definida una estrategia de gestión de la propiedad intelectual? (benchmark tecnológico)	No
Producción piloto y demostración	6	**Demostración tecnológica.** **Tecnología <u>demostrada</u> en un ambiente relevante** Para el caso de plataformas tecnológicas, el ambiente relevante debe considerar condiciones industriales, no de laboratorio experimental académico. Pre-producción de un producto, incluyendo pruebas en un ambiente real.	1	¿Tiene integradas las tecnologías de producto y manufactura en una planta piloto? (considerando todos los aspectos de manufacturabilidad)	No
			2	¿Tiene alineado el nuevo producto con las tecnologías de producción?	No
			3	¿Cuenta con usuarios potenciales que pruebe la producción a baja escala?	Sí
			4	¿Cuenta con una organización operativa acorde a las necesidades de operación de la producción? (mercadotecnia, logística, producción y otros)	No
			5	¿inició el proceso sobre el registro de las certificaciones requeridas por instancias gubernamentales para la producción y despliegue del prototipo?	No
	7	**Desarrollo de Producto.** **Demostración de <u>prototipo a nivel sistema</u> en un ambiente <u>operativo</u> real (sistema real).** Producción a baja escala para demostración en ambiente operativo real.	1	¿Cuenta con un proceso de manufactura operacional en baja escala? (produciendo productos comerciales)	No
			2	¿Cuenta con usuarios potenciales que prueben la versión final del producto?	Sí
			3	¿Cuenta con una estructura organizacional adecuada para la implementación?	No
			4	¿Cuenta con un producto terminado para prueba de primeros clientes?	No
Introducción inicial al mercado	8	**Desarrollo de Producto. Sistema completo y evaluado.** Manufacturabilidad probada y validada para ambiente real. Sistema completo y certificado. Producto o servicio comercializable. Resultados de las pruebas del sistema en su configuración final.	1	¿Se encuentra manufacturando el producto en su versión final?	No
			2	¿Tiene un producto comercializable?	No
			3	¿Su organización es operativa al 100%?	No
			4	¿Su prototipo cumple con estándares de la industria en cuestión?	No
			5	¿Elaboró los documentos para la utilización y mantenimiento del producto (manual del usuario, soporte técnico)?	No
Expansión de mercado	9	**Producto terminado.** **Pruebas con éxito en entorno real. Despliegue.** Tecnología disponible en el mercado. Aplicación comercial.	1	¿Cuenta con producción sostenida?	No
			2	¿Cuenta con un producto que cuenta con un crecimiento de mercado?	No
			3	¿Cuenta con cambios incrementales de producto que le lleven a crear nuevas versiones?	No
			4	¿Los procesos de manufactura y producción son optimizados a través de innovaciones incrementales?	No

Ilustración 48 Encuesta de madurez de la tecnología resuelta.

EL nivel de maduración del compensador está en un TLR1 el cual cuenta con una investigación una investigación básica concluida además de artículos científicos sobre los principios de la nueva tecnología.

4.6 Análisis de movimiento de la mano

Para comenzar con el análisis en Solidworks, se tuvo que definir el material, para después realizar dos simulaciones, una con el puro modelo de mano, mientras que la segunda sería ya con el dispositivo implementado.

Para que los modelos pudieran rotar, fue necesario modificar la parte posterior de cada uno y agregar una pieza extra que funcionaría como un eje de giro la cual se muestra a continuación:

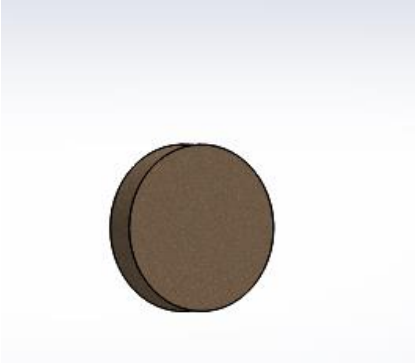


Ilustración 49 Base eje de giro.

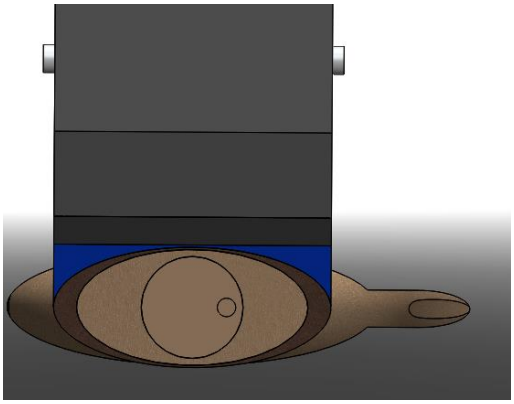


Ilustración 50 Ensamble de la base de giro

Comenzando con la mano, los resultados de la simulación se analizaron para las componentes de velocidad Y, Z, puesto que la componente X es igual a cero al no tener movimiento en esa dirección, además de la magnitud de la velocidad, las cuales se muestran a continuación:

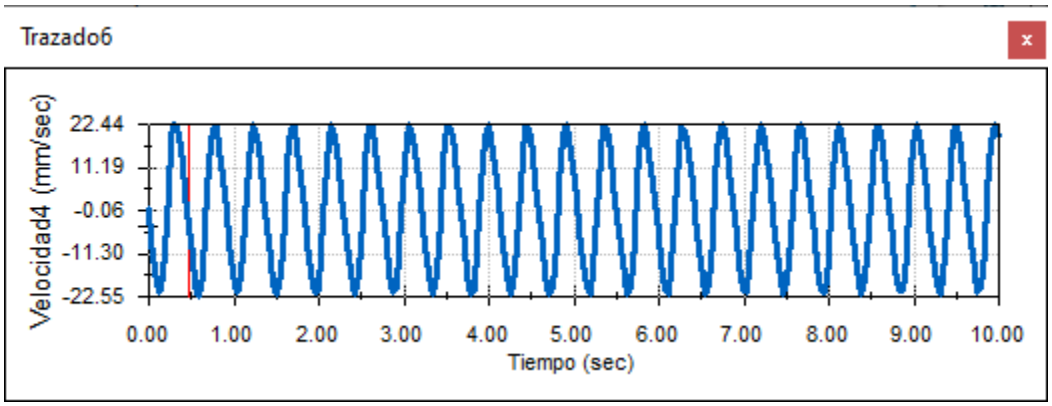


Ilustración 51 Velocidad lineal en la componente Y.

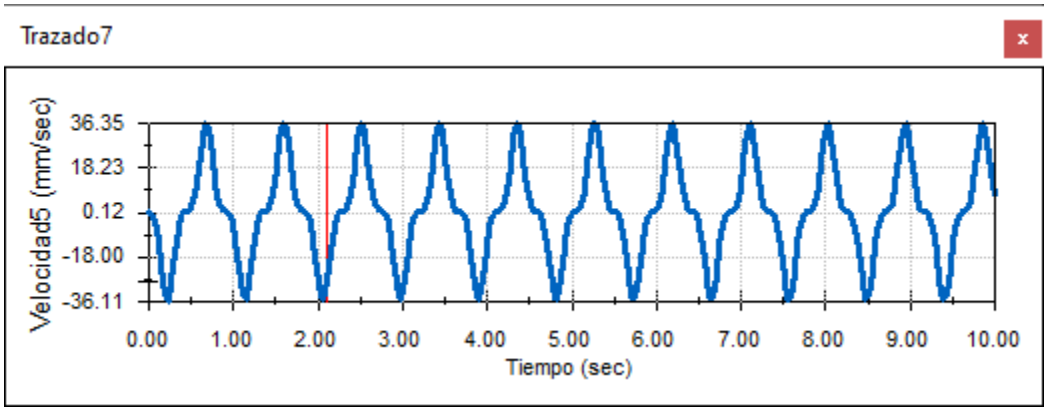


Ilustración 52 Velocidad lineal en la componente Z.

Las gráficas de las ilustraciones 44 y 45 muestran las amplitudes de las velocidades de las componentes Y y Z. Ambas tiene valores negativos y positivos debido al eje de referencia en el que se estableció la medición, cuando el movimiento del modelo está por arriba de este, es positivo, mientras que, por debajo, este es negativo. El cambio de signo representa la posición en la que se encuentra el modelo, es decir, el movimiento oscilante constante respecto a un punto de equilibrio o reposo.

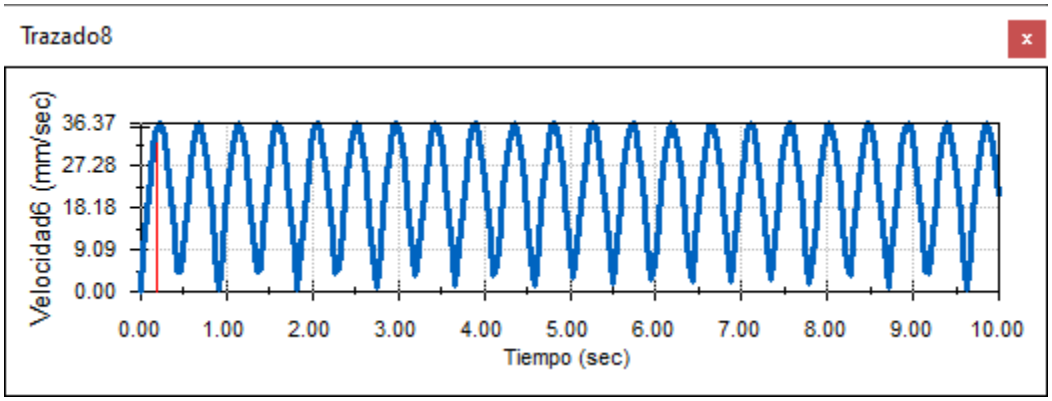


Ilustración 53 Magnitud de la velocidad lineal de la mano izquierda sin compensar

Al medir la magnitud resultante de las componentes, se obtienen sólo valores positivos y estos se encuentran dentro del intervalo de 0 36.37 mm/s. Los valores se encuentran resumidos en la tabla siguiente considerando los valores pico para cada componente y la magnitud resultante.

Componente	Velocidad más alta $[mm/s]$	Velocidad más baja mm/s
Y	22.4	-22.5
Z	36.35	-36.11
Magnitud resultante	36.37	0

Tabla 12 Valores pico de las gráficas de velocidades de componentes Y, Z y magnitud.

Para el caso de la aceleración lineal:

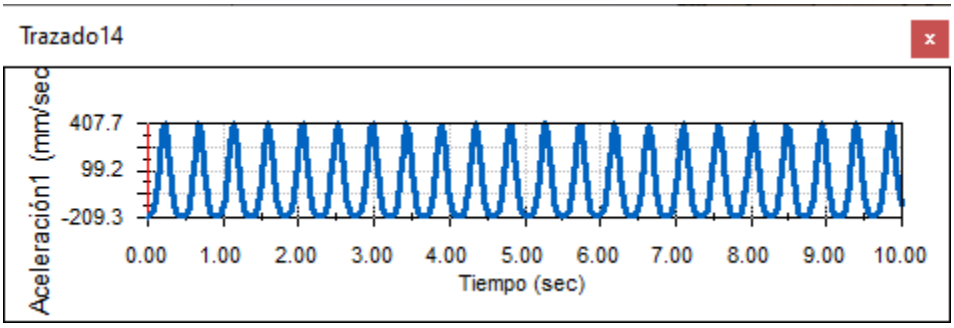


Ilustración 54 Aceleración lineal en la componente Y.

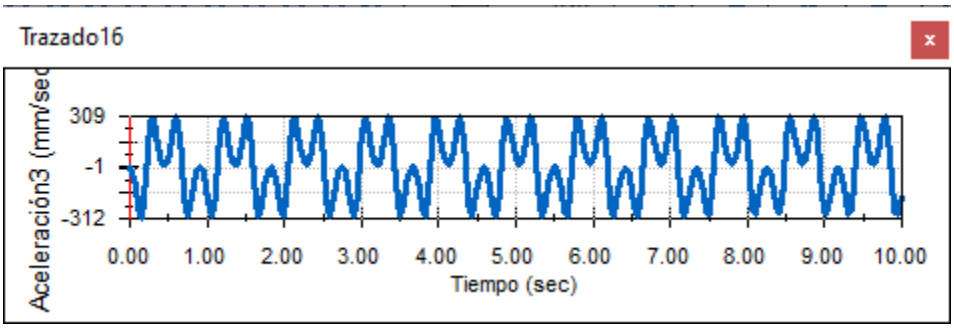


Ilustración 55 Aceleración lineal en la componente Z.

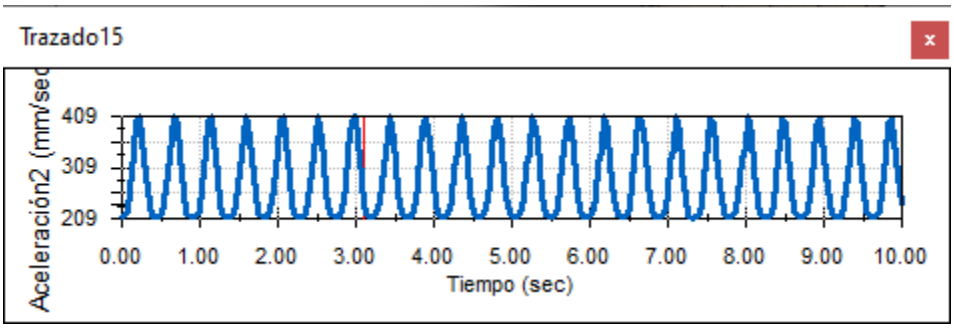


Ilustración 56 Magnitud de la aceleración lineal de la mano izquierda sin compensar.

Las ilustraciones 47 y 48 presentan valores negativos en sus curvas, lo que indica la posición en la que se encuentra el modelo y además, son cantidades variables de aceleración porque primero, debe crecer positivamente para aumentar la velocidad y después decrecer hasta valores negativos para que la velocidad ahora comience a disminuir cada vez más hasta valores negativos, una vez ocurrido esto, la aceleración nuevamente aumentará para volver a números positivos para que la velocidad vuelva a incrementarse. Al ser un movimiento oscilante, la aceleración repetirá este comportamiento para modificar la velocidad de la mano y, por ende, la posición de la mano. En la ilustración 49 no se aprecian los valores negativos puesto que es una curva de magnitud de las componentes de aceleración Y y Z.

Para la velocidad y aceleración angular, se tienen los siguientes resultados según la componente X y su magnitud:

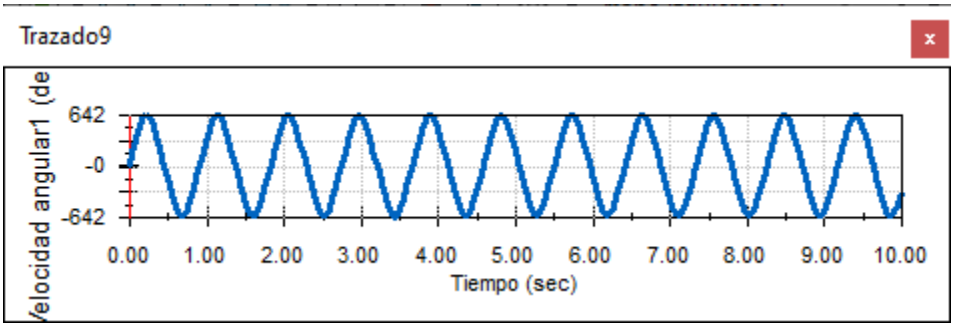


Ilustración 57 Componente X de velocidad angular

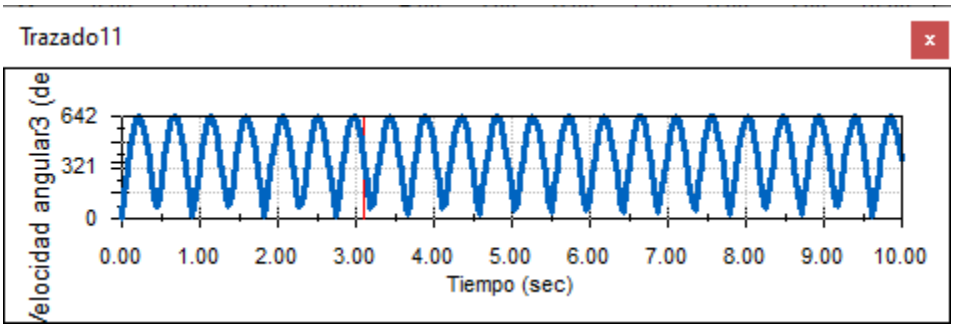


Ilustración 58 Magnitud de la velocidad angular sin compensar de la mano izquierda.

La ilustración 50 muestra la curva de velocidad angular en el eje X, no hubo resultados para los demás ejes Y y Z por el tipo de movimiento del modelo, el cual solo rota en X, mientras que en los demás, la magnitud es cero. La gráfica tiene una proyección igual en el semieje negativo debido a que el modelo tiene un comportamiento oscilante con los mismos valores en cada semieje, pero con signo diferente. Por lo anterior, la ilustración 50 coincide en los valores pico que en la 51, tiene más crestas debido a la rectificación de los valores negativos en el semi eje positivo.

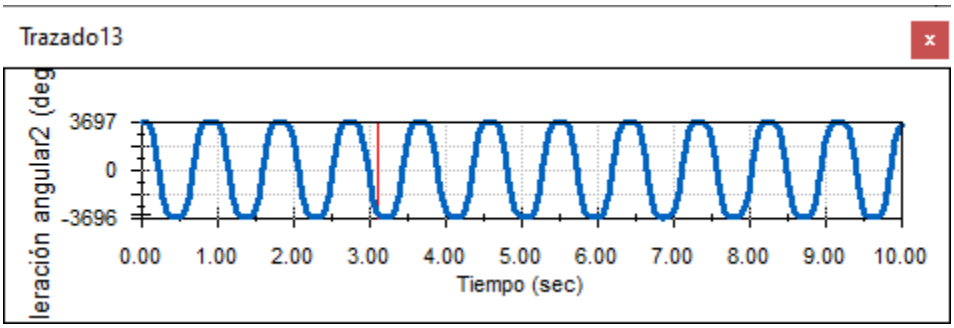


Ilustración 59 Componente X de la aceleración angular.

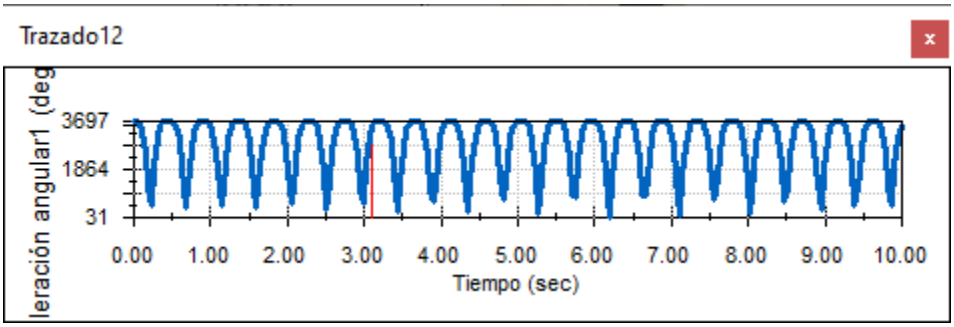


Ilustración 60 Magnitud de la aceleración angular de la mano izquierda sin compensar.

Las curvas de aceleración angular y de la aceleración lineal coinciden en su comportamiento oscilante para modificar sus respectivas velocidades. Puesto que la velocidad angular en Y y Z es constante e igual a cero, no hay aceleración presente en estos, solo en el eje X. Ambas curvas son diferentes de cero puesto que es necesario que exista una aceleración así sea negativa o positiva para que haya un desplazamiento, este decrece hasta cero y continúa negativamente para que la velocidad angular aumente cada vez más lento e incluso hasta decrecer y llegar a valores negativos concurrentes con la posición en la que se encuentra el modelo.

4.7 Análisis de movimiento del dispositivo activado

4.7.1 A 1,000 rpm

Para comenzar con los modelos compensadores, primero se analizó a la mano tomando en cuenta sus magnitudes de velocidad, aceleración lineal y angular, comenzando con una velocidad de rotación del giroscopio de 1,000 rpm:

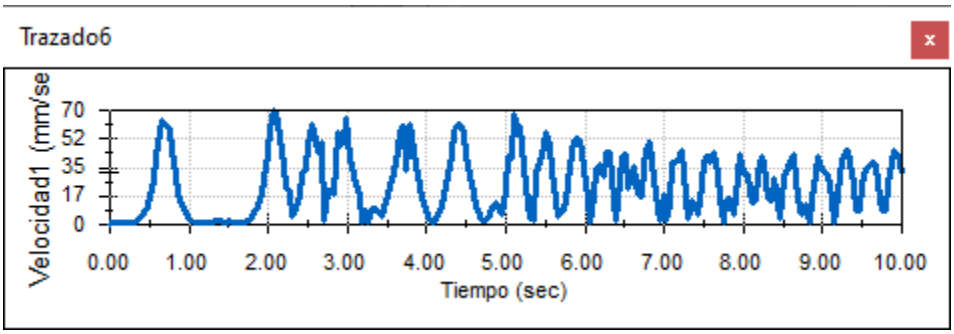


Ilustración 61 Magnitud de la velocidad lineal.

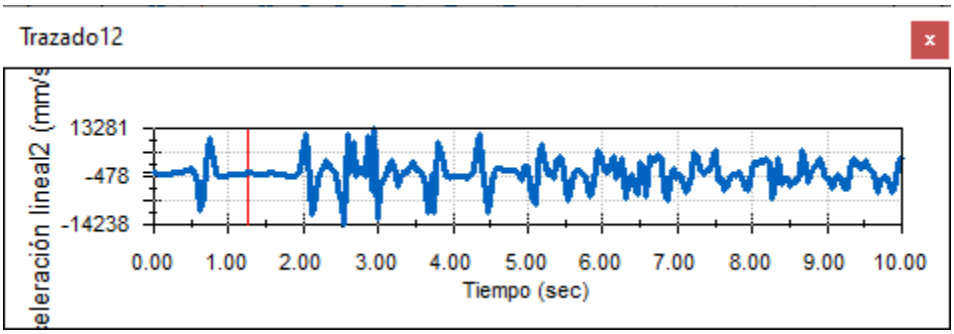


Ilustración 62 Aceleración lineal.

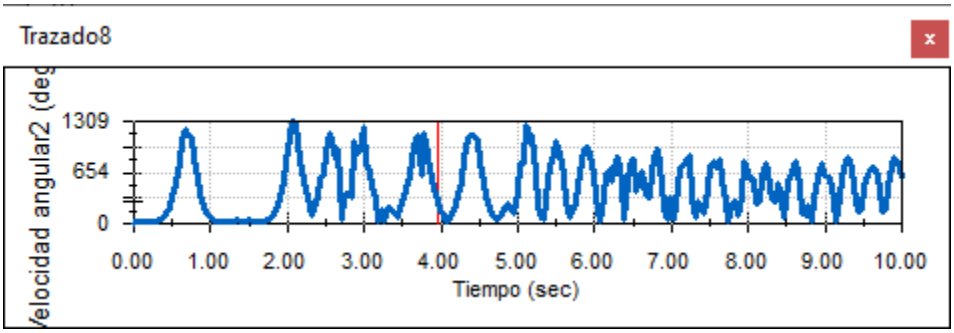


Ilustración 63 Magnitud de la velocidad angular.

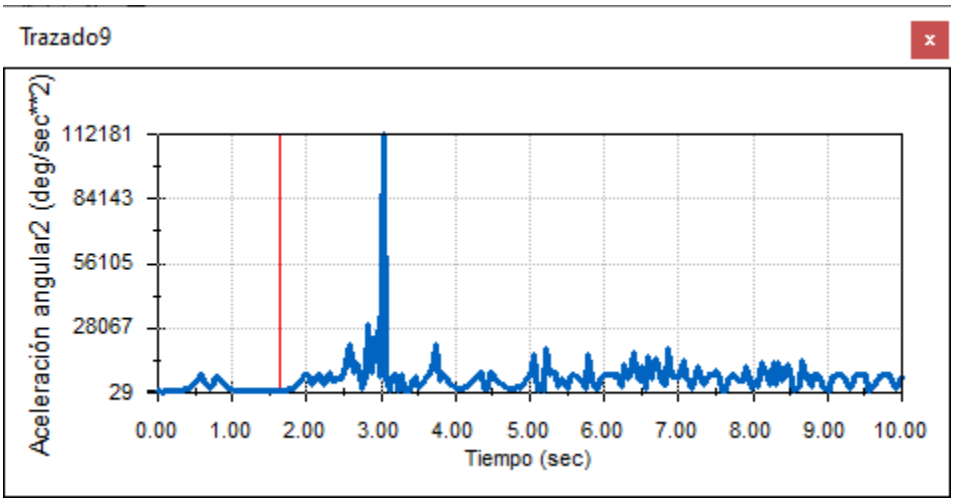


Ilustración 64 Magnitud de la aceleración angular.

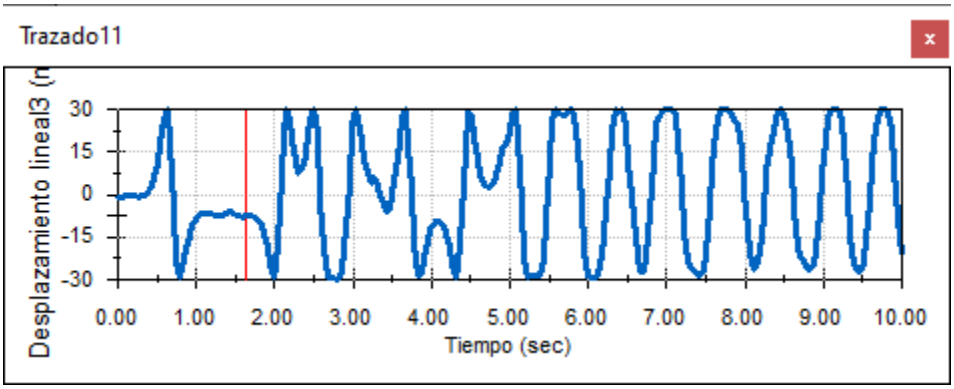


Ilustración 65 Desplazamiento lineal a 1,000 rpm.

En la ilustración 59 se aprecia una disminución en los valores pico de las velocidades, decreciendo desde los 70 mm/s a estar por debajo de los 50 mm/s. En la ilustración 60 se comparan estos valores ordenándolos de menor a mayor valor para apreciar mejor los cambios que en la velocidad que han sido modificados por la influencia del compensador

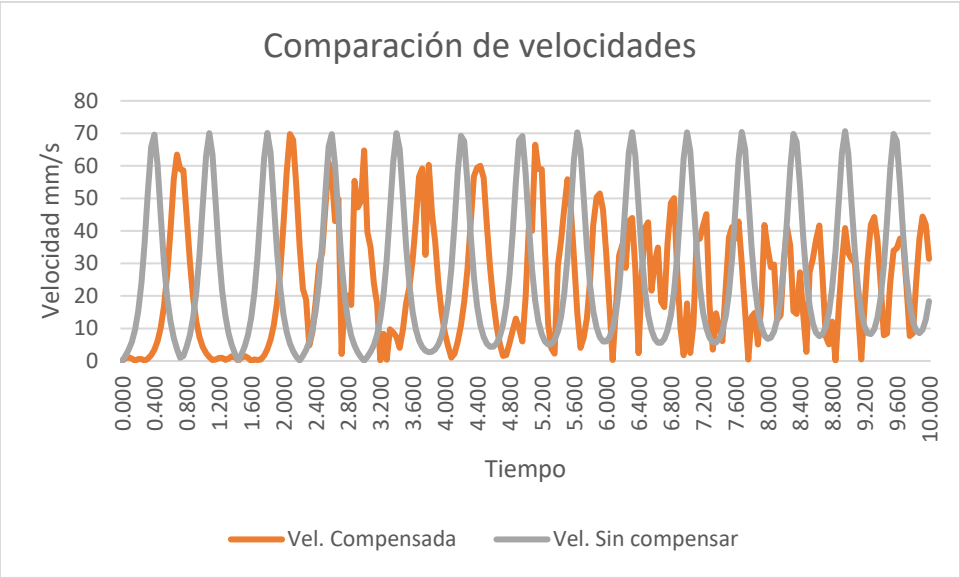


Ilustración 66 Gráfica de velocidades de la mano normales y compensados. Elaboración propia.

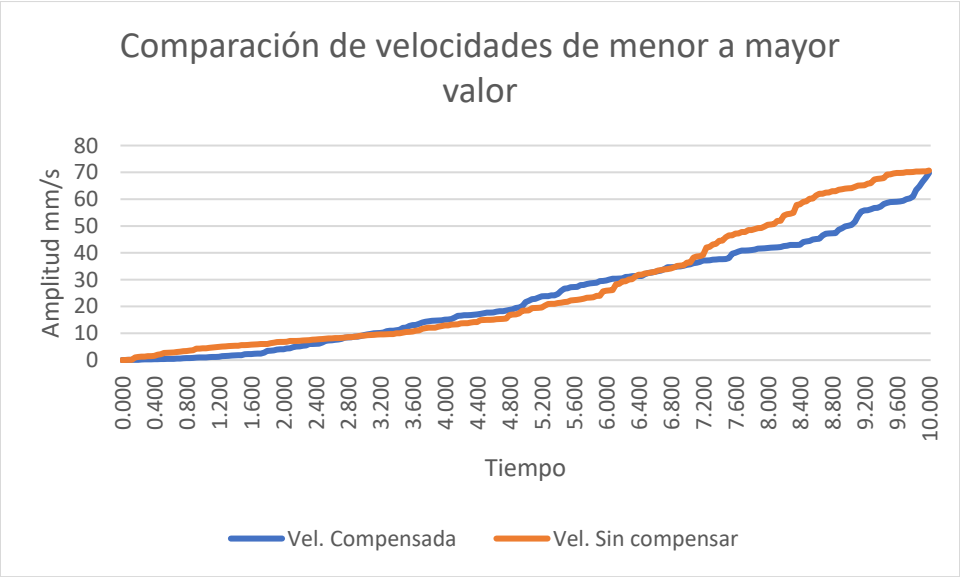


Ilustración 67 Comparación de los valores de velocidades de la mano. Elaaoración propia.

En relación con las velocidades lineales, se muestran las comparaciones entre las aceleraciones para ambos casos. En cada ilustración se aprecia un decremento en la amplitud en correlación con la disminución en la velocidad.

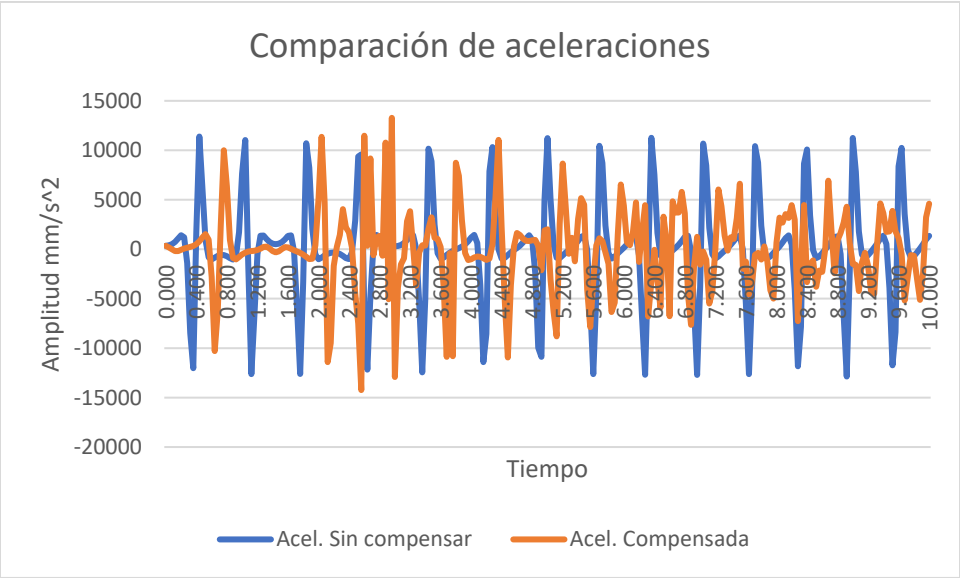


Ilustración 68 Gráfica de velocidades de la mano normales y compensados Elaboración propia.

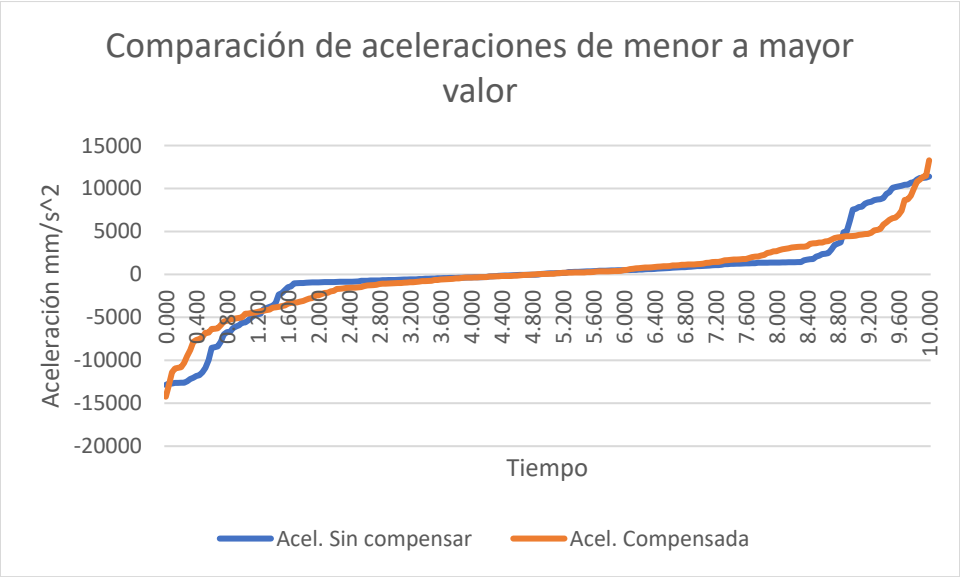


Ilustración 69 Gráfico de valores de aceleración normales y compensados ordenados. Elaboración propia.

A pesar de que en las ilustraciones de velocidad y aceleración anteriores hay una clara disminución en las amplitudes, el desplazamiento de la mano se mantiene constante, ha cambiado la forma de onda, sin embargo, aún no hay una disminución en la amplitud lo cual puede apreciarse en las ilustraciones 63 y 64

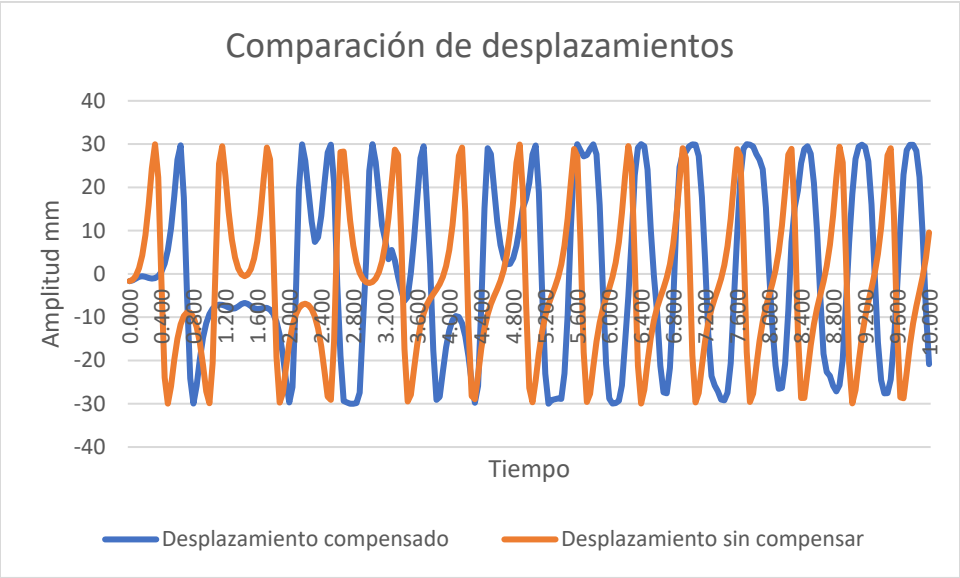


Ilustración 70 Gráfica de desplazamientos de la mano normales y compensados. Elaboración propia.

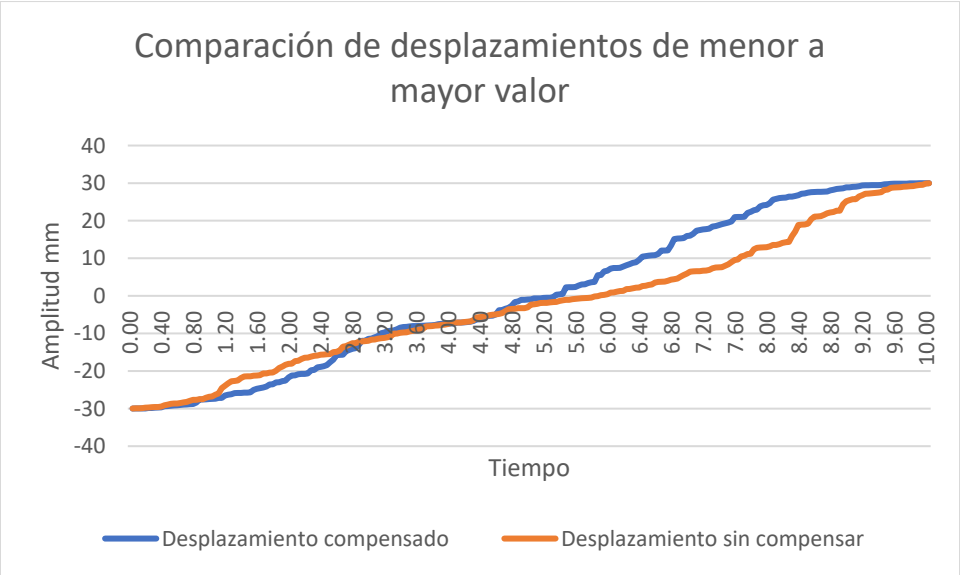


Ilustración 71 Comparación de valores de desplazamientos de la mano normales y compensados ordenados. Elaboración propia.

4.7.2 A 3,500 rpm

Para continuar con el análisis de movimiento, se aumentaron las revoluciones para apreciar cómo afectaba el aumento de estas a la estabilidad que tenía el modelo de la mano, cambiando de 1,000 rpm a 3,500 rpm.

En la ilustración siguiente se observa una disminución considerable de la velocidad, pasando de los 70 mm/s a mantenerse casi en los 40 mm/s siendo esto una mejora de al menos un 42%.

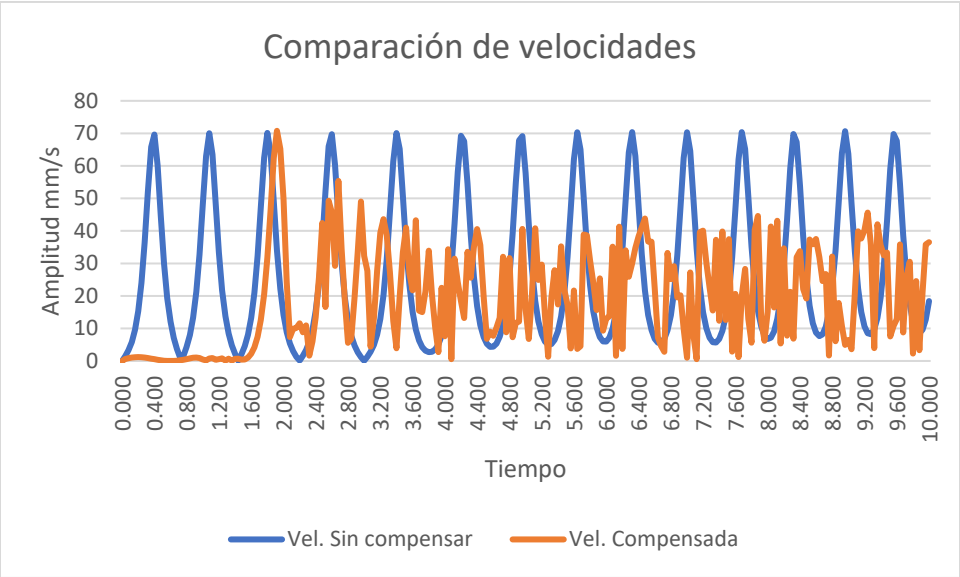


Ilustración 72 Gráfica de velocidades de la mano normales y compensados. Elaboración propia.

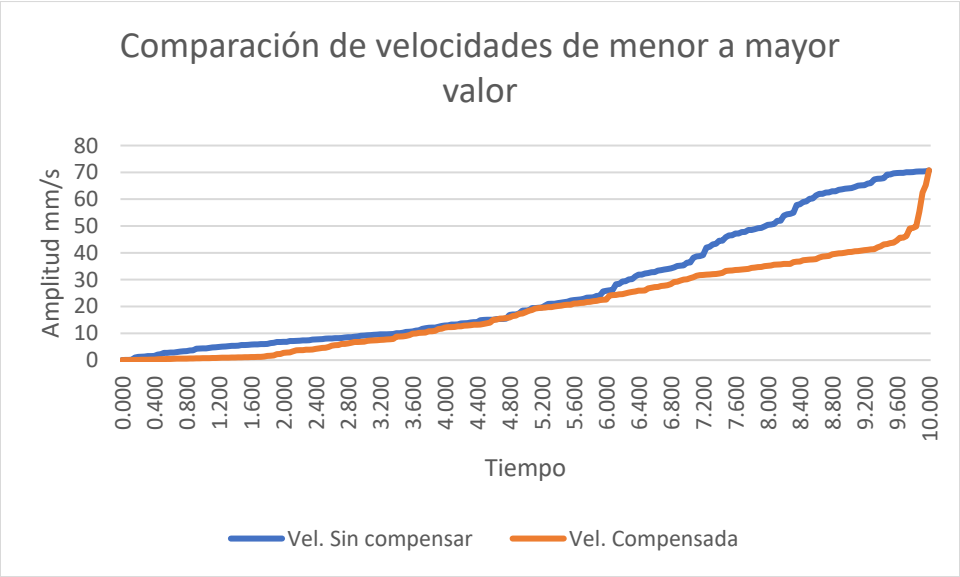


Ilustración 73 Gráfica de velocidades de la mano normales y compensados ordenados. Elaboración propia.

En este caso, los valores de la aceleración aumentaron y además de eso presentan mayor fluctuación a comparación de la aceleración no compensada del modelo, esto se debe a que con la

activación del dispositivo está intentando estabilizar el movimiento del biomodelo, estos valores están relacionados con las gráficas de velocidad, puesto que se están experimentando cambios súbitos en la aceleración para aumentar o disminuir la velocidad de oscilación de la mano.

En el intervalo de 0 a 1.6 segundos, la mano se mantuvo estable lo que se puede apreciar gracias al bajo valor de aceleración de experimentó, sin embargo, después, las vibraciones de la mano reaparecieron y las revoluciones del giroscopio fueron insuficientes para mantener en reposo al modelo.

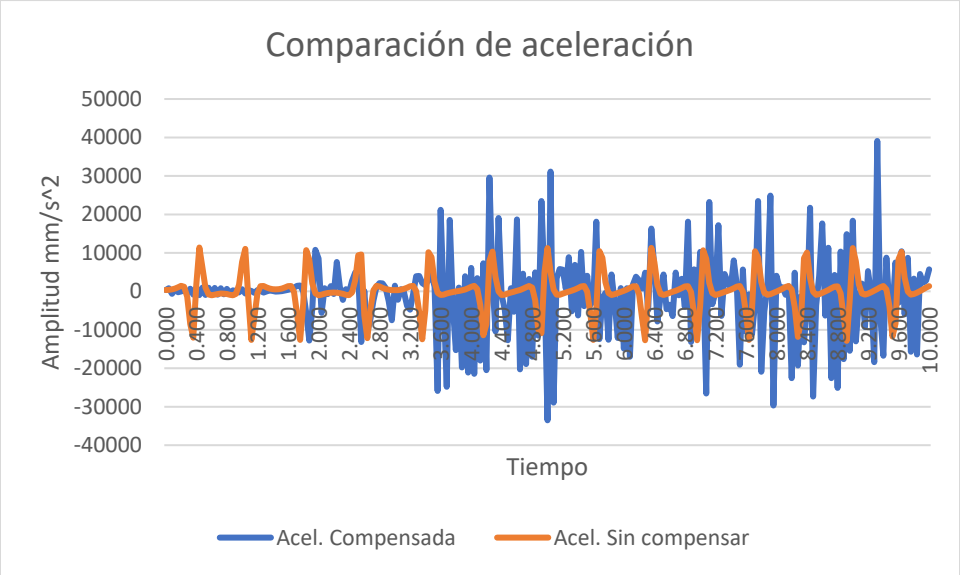


Ilustración 74 Gráfica de aceleraciones de la mano normales y compensados. Elaboración propia.

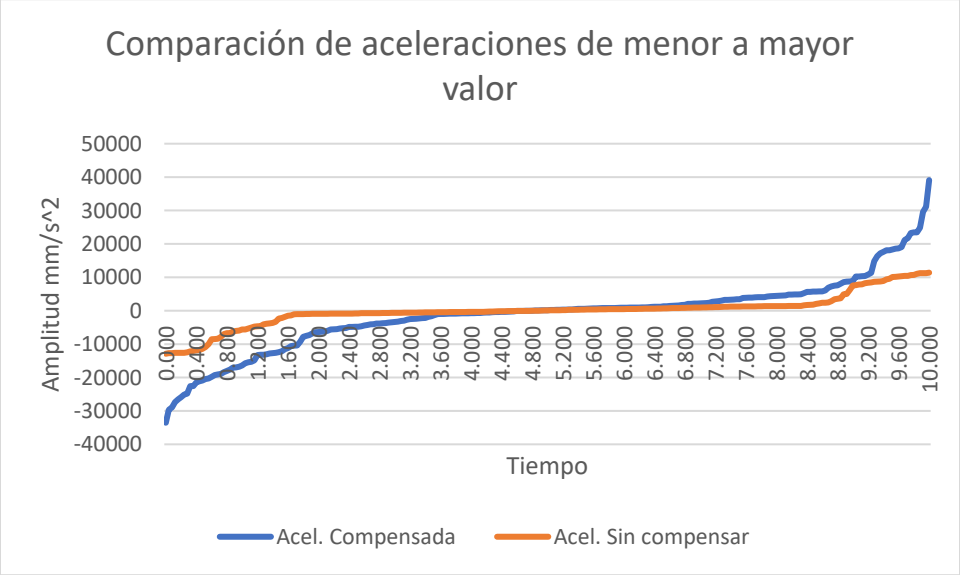


Ilustración 75 Gráfica de aceleraciones de la mano normales y compensados ordenados. Elaboración propia.

Las gráficas de velocidad y aceleración son congruentes en mostrar un valor casi nulo en el primer segundo lo que indica que los temblores fueron suprimidos, sin embargo, estas reaparecieron

después provocando nuevamente oscilaciones en las amplitudes de cada unidad de medida. En comparación con las gráficas anteriores y la ilustración 69, la lectura de velocidad y aceleración cero tienen también un impacto en el desplazamiento el cual es casi nulo, durante al menos un segundo, no hubo crecimiento en la amplitud de desplazamiento, después de ese tiempo, el valor aumentó hasta 30 mm y decreció hasta -30 mm, este comportamiento se repitió durante el tiempo de simulación indicando que las revoluciones establecidas no generaron la suficiente inercia para mantener estable el modelo. También se puede apreciar que, a pesar de que el valle y la cresta más alta de la curva se igualaron a la gráfica de -Desplazamiento sin compensar- (curva naranja), estas oscilaciones decrecieron ligeramente, así que es necesario incrementar las revoluciones del giroscopio para evaluar si la atenuación de las amplitudes es mucho más pequeña o cero en comparación con los valores del modelo sin compensar.

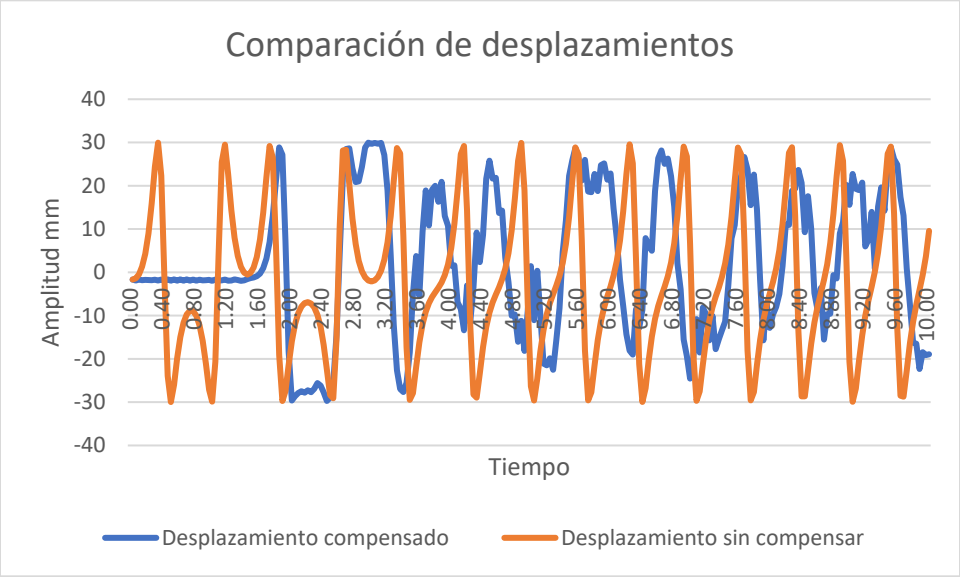


Ilustración 76 Gráfica de desplazamientos de la mano normales y compensados. Elaboración propia.

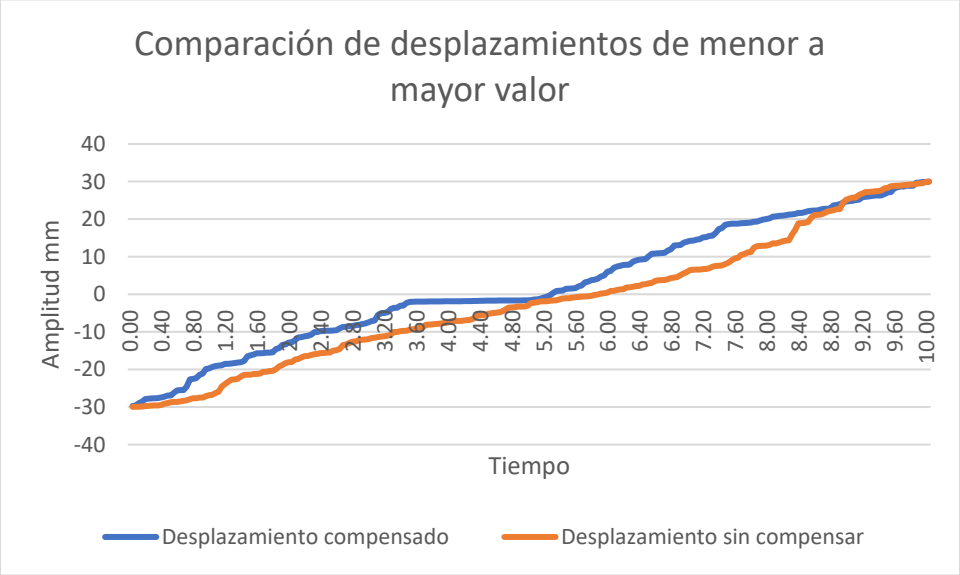


Ilustración 77 Gráfica de desplazamiento de la mano normales y compensados ordenados. Elaboración propia.

4.7.3 A 6,500 rpm

Se aumentaron las revoluciones del giroscopio, esta vez hasta los 6,500 rpm, es decir, un incremento del 85% del valor anterior, conforme a los resultados anteriores, la estabilidad del modelo debe mantenerse por mayor tiempo y las amplitudes de velocidad, aceleración y desplazamiento decaigan.

En la ilustración 71, los valores de velocidad han decrecido considerablemente, pasando de 70 mm/s a estar por debajo de los 10mm/s, significando esto una mejoría de al menos un 85%. En la ilustración 72 puede apreciarse claramente este cambio en la velocidad punta de las vibraciones del modelo sin compensar y del compensado.

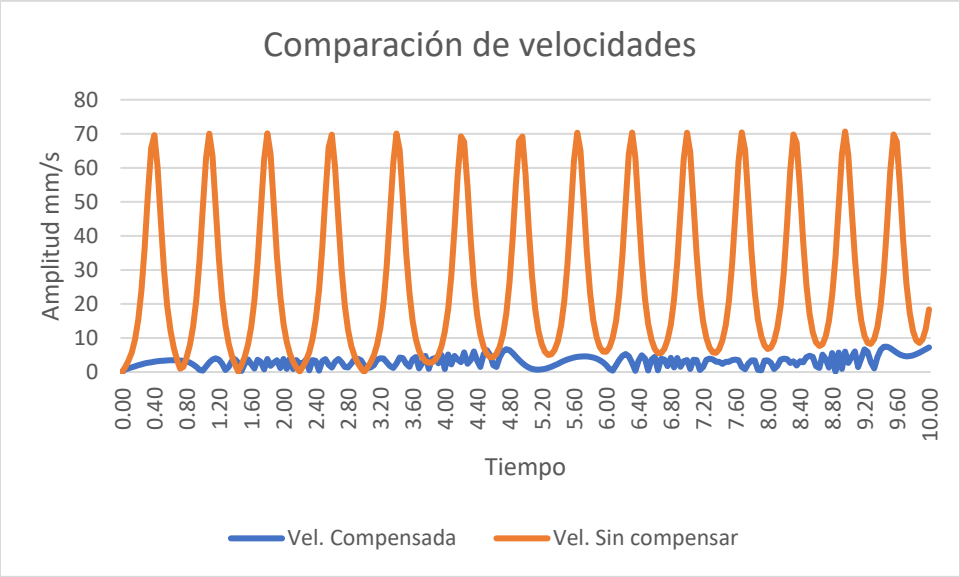


Ilustración 78 Gráfica de velocidades de la mano normales y compensados. Elaboración propia.

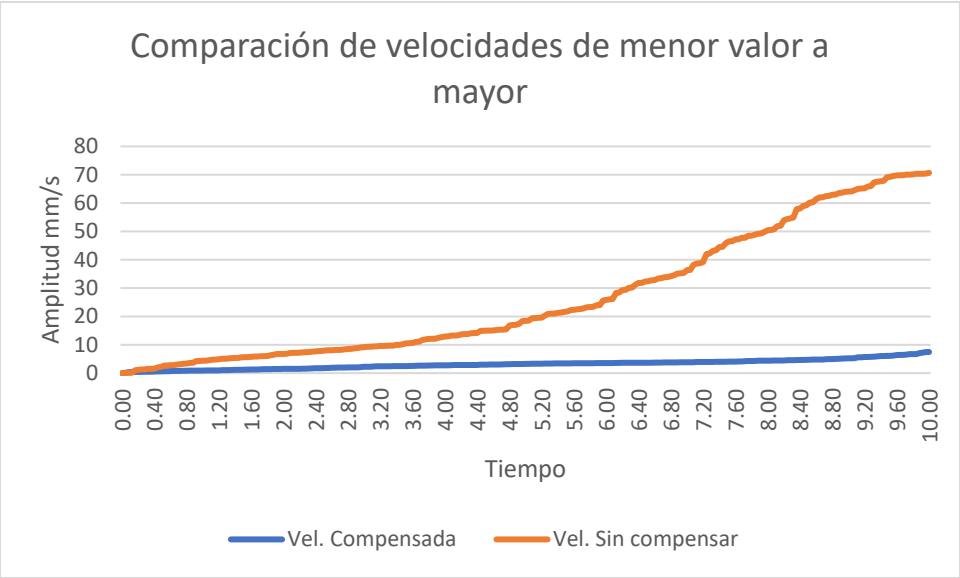


Ilustración 79 Gráfica de velocidades de la mano normales y compensados ordenados. Elaboración propia.

En las curvas de aceleración, también se presenta una mejoría respecto a su amplitud, manteniéndose casi a la mitad valor pico. El número de iteraciones aumentó debido a los cambios de signo de la aceleración para disminuir o aumentar la velocidad y de esta manera, contrarrestar las vibraciones producidas por el modelo.

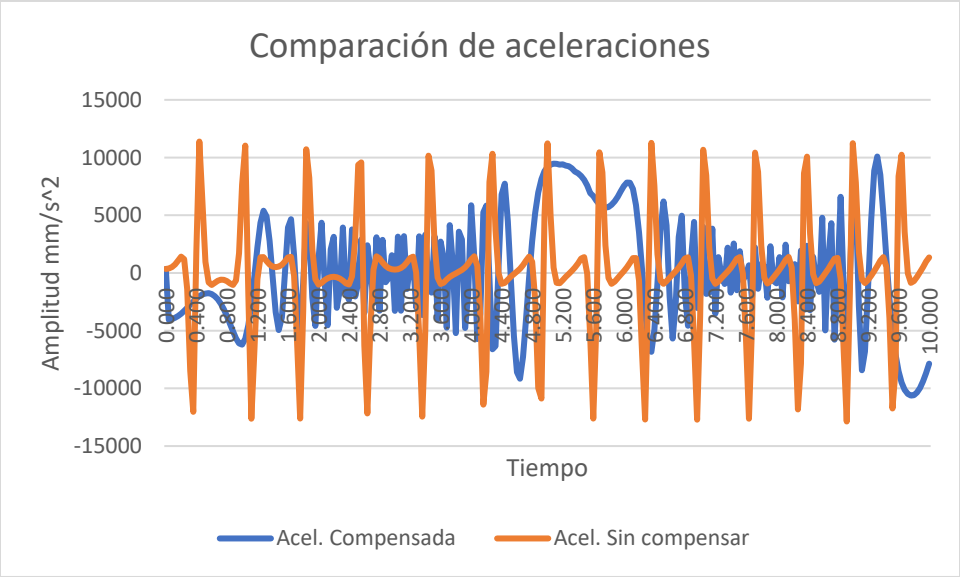


Ilustración 80 Gráfica de aceleraciones de la mano normales y compensados. Elaboración propia.

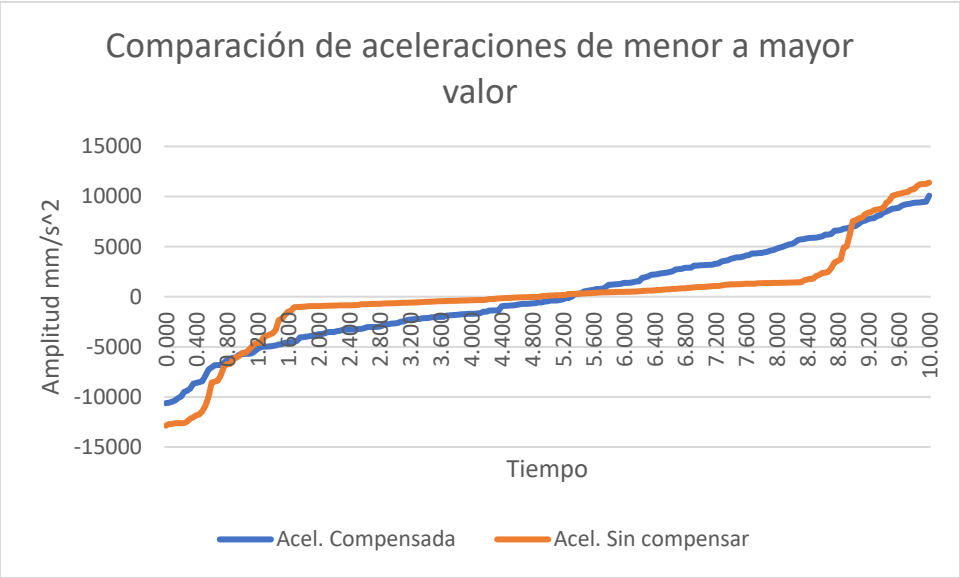


Ilustración 81 Gráfica de aceleraciones de la mano normales y compensados ordenados. Elaboración propia.

Las ilustraciones de desplazamiento muestran una clara mejoría en la supresión de la amplitud de las oscilaciones del modelo sin compensar. La amplitud negativa, indica solo la posición en la que se encuentra el modelo según el eje de referencia o en el punto de reposo, en este caso se encuentra por debajo de este, por tanto, aún se tiene una mejoría del valor de 30 mm a menos de 10 mm, una optimización de un 67% del valor inicial.

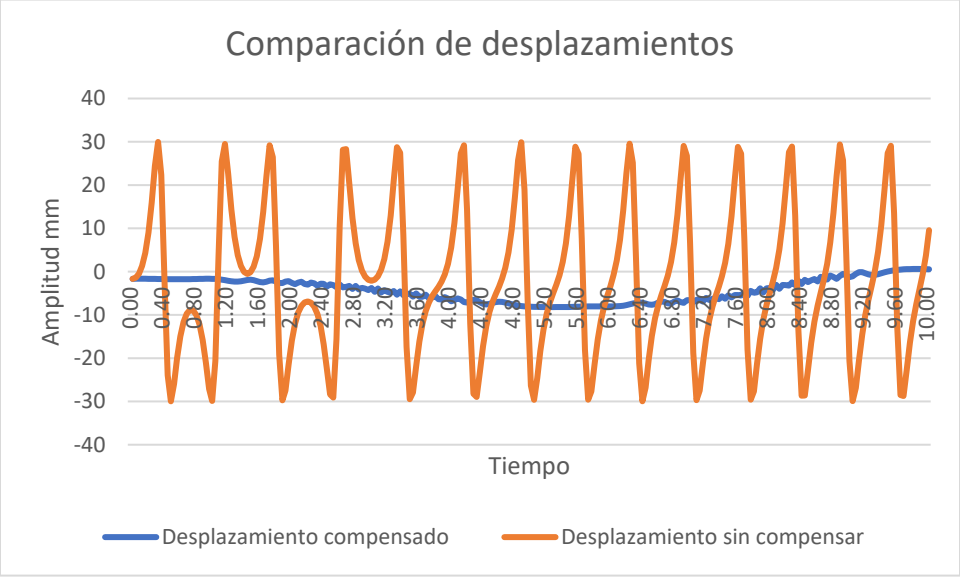


Ilustración 82 Gráfica de desplazamientos de la mano normales y compensados. Elaboración propia.

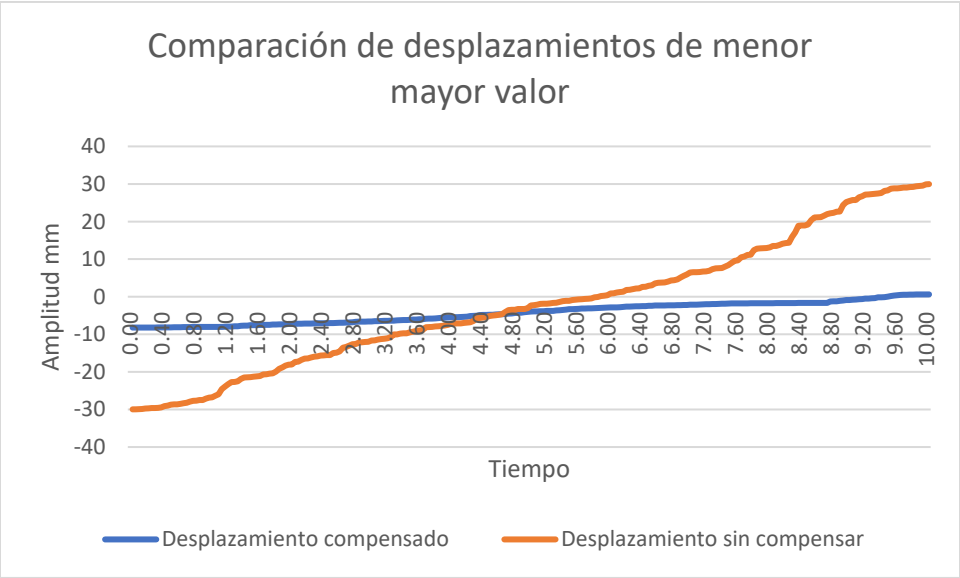


Ilustración 83 Gráfica de desplazamientos de la mano normales y compensados ordenados. Elaboración propia.

.

4.7.4 8,000 rpm

Finalmente, se analizó el comportamiento del dispositivo, pero ahora con una velocidad del giroscopio en 8,000 rpm.

Como se aprecia en la ilustración 77 la amplitud se mantiene por debajo de los 10 mm/s tal como en el caso anterior, así como una mejoría de al menos un 85% en la velocidad.

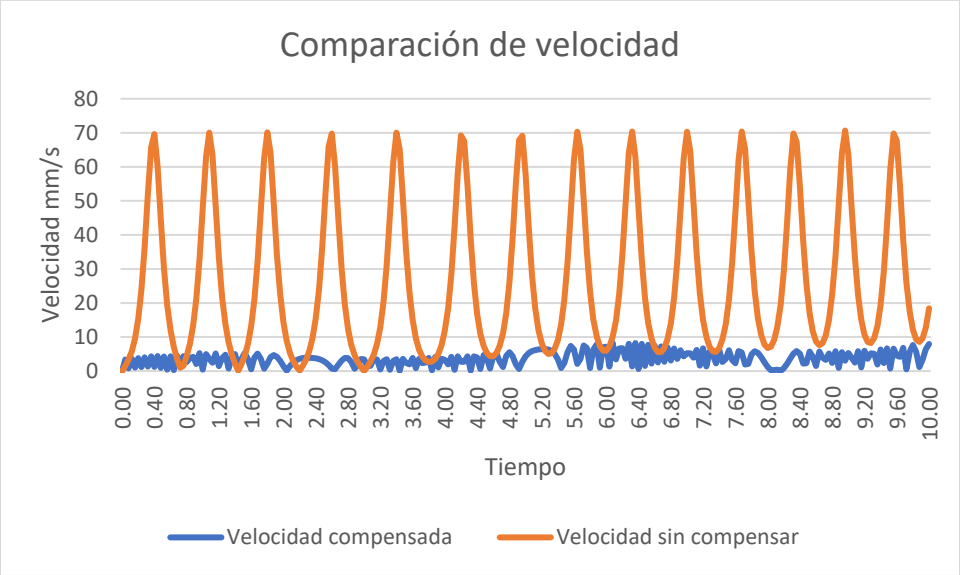


Ilustración 84 Gráfica de velocidades de la mano normales y compensados. Elaboración propia.

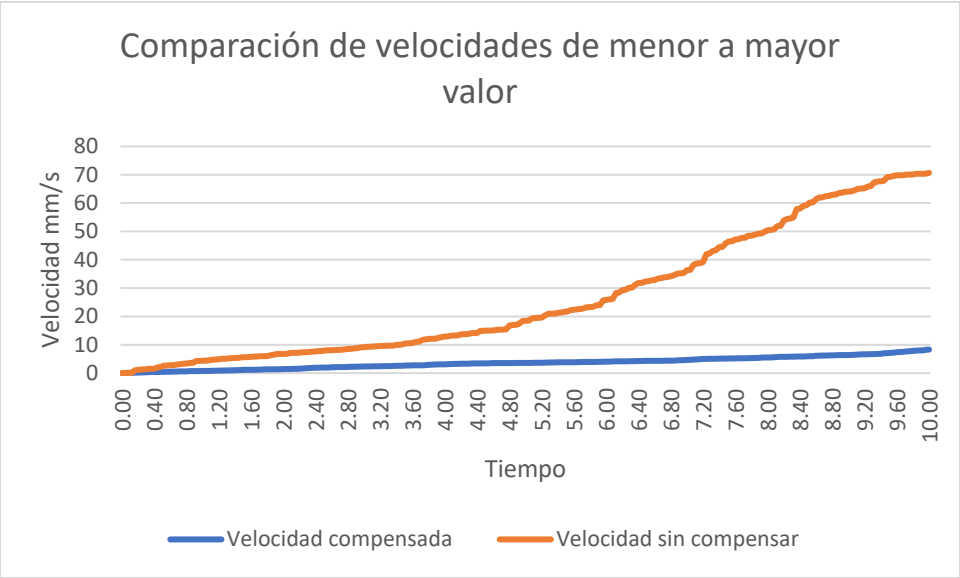


Ilustración 85 Gráfica de velocidades de la mano normales y compensados. Elaboración propia.

En el caso de la aceleración, muestra qué tan rápido estuvo cambiando la velocidad, al ser velocidades pequeñas, pero con cambios súbitos, la aceleración tendría que estar constantemente cambiando de signo y de valor. Los valores picos ya sea positivos o negativos, corresponden a los cambios de velocidad súbitos que se muestran en las gráficas anteriores.

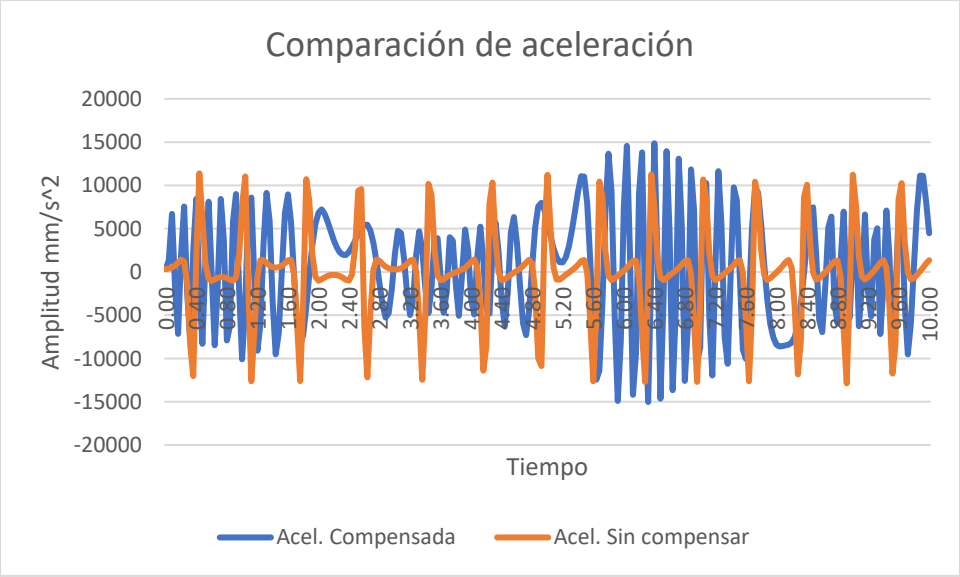


Ilustración 86 Gráfica de aceleraciones de la mano normales y compensados. Elaboración propia.

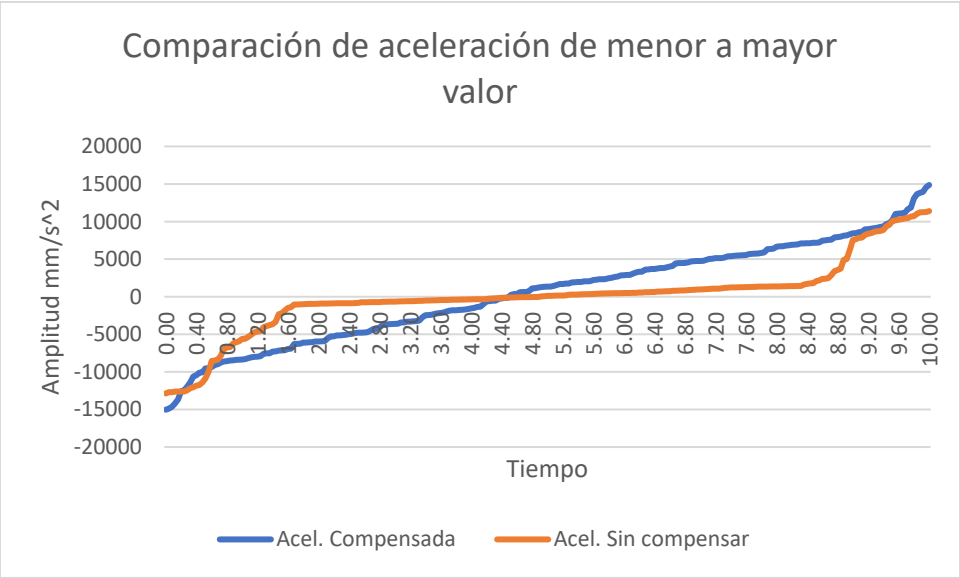


Ilustración 87 Gráfica de aceleraciones de la mano normales y compensados. Elaboración propia.

A continuación, los desplazamientos se mantuvieron aún por debajo de los 10 mm si bien estos tienen un signo negativo, representa solo la posición que tiene según el eje de referencia. Las medidas del giroscopio se encuentran en el anexo A.

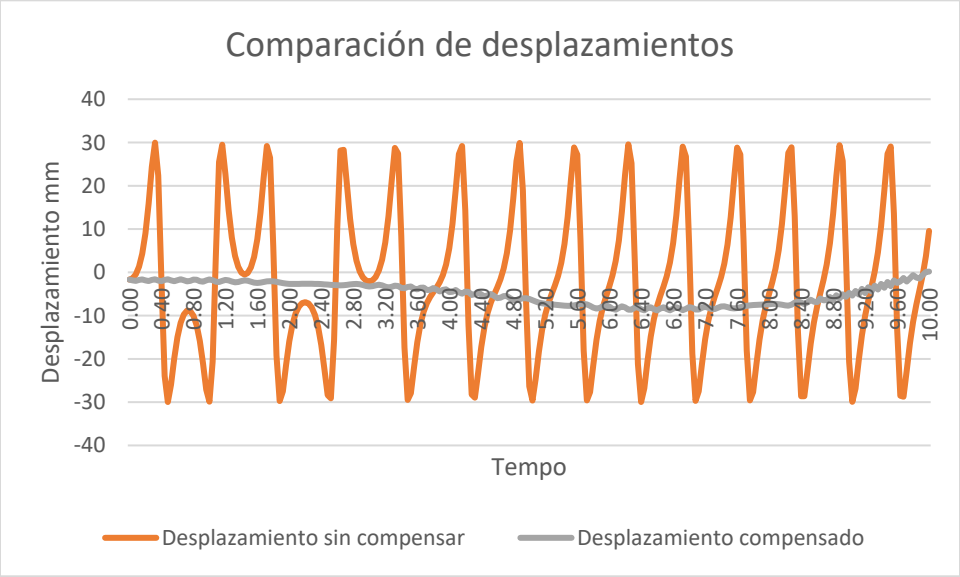


Ilustración 88 Gráfica de desplazamientos de la mano normales y compensados. Elaboración propia.

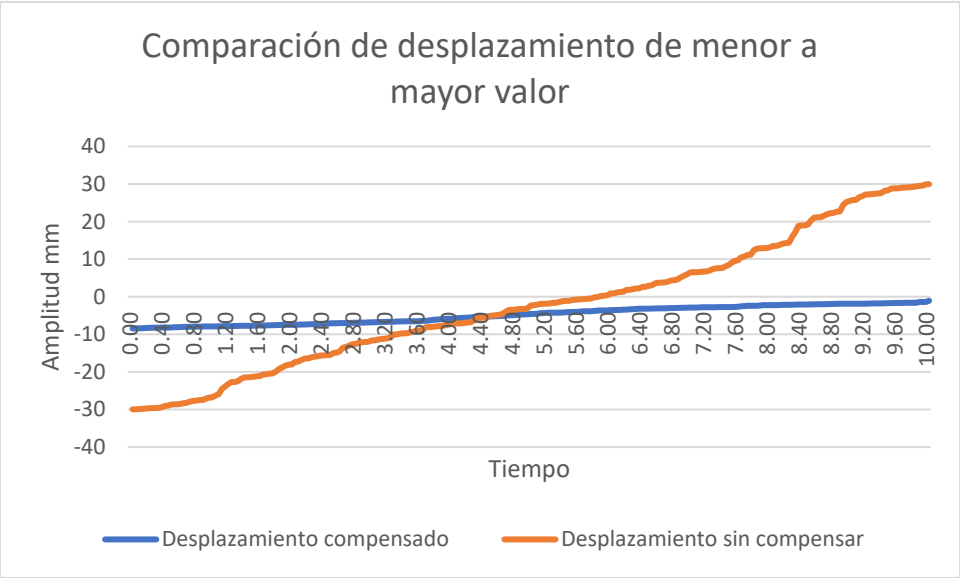


Ilustración 89 Gráfica de desplazamientos de la mano normales y compensados ordenados. Elaboración propia.

En la ilustración siguiente, se aprecian una comparación de todas las curvas de desplazamiento según las condiciones a las que se encuentra el dispositivo, comenzando con el estado desactivado con el color azul. Para las demás curvas de 1,000 rpm, 3,500 rpm, a pesar de que los valores se mantienen por sobre la curva sin compensar, la amplitud se mantiene en valores muy altos, mientras que para el caso de las 6,500 rpm y 8,000 rpm fueron las condiciones que tuvieron mejores efectos de supresión de temblores, reduciéndolos a amplitudes por debajo de los 10 mm.

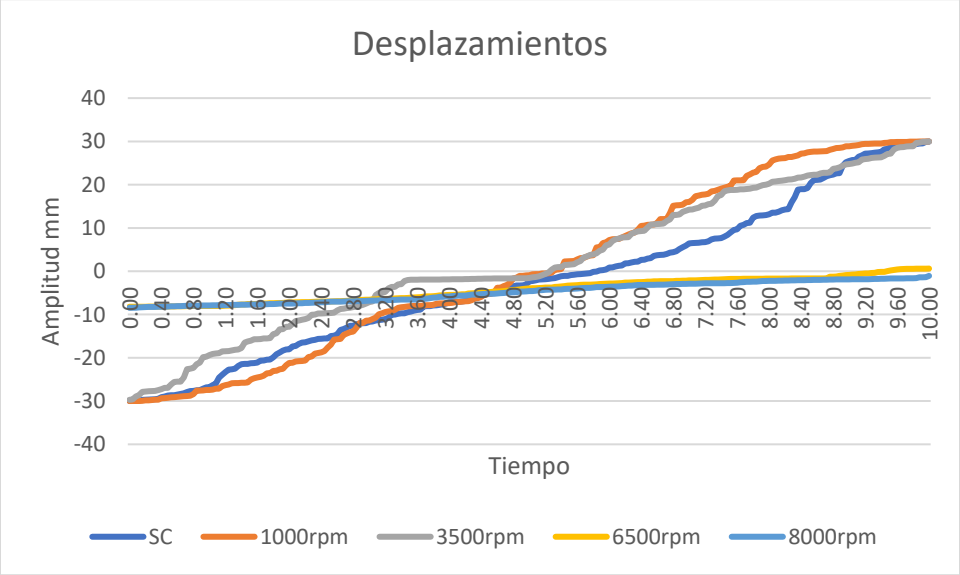


Ilustración 90 Comparación de desplazamientos de la mano con el dispositivo activado con rpm diferentes. Elaboración propia.

Continuando con la comparación, a pesar que en las gráficas de desplazamientos, las amplitudes se mantuvieron superiores a las del caso sin compensar, la velocidad tuvo decrementos que se

mantuvieron por debajo de la curva SC (sin compensar) lo que indica que esta vez, los cambios en los desplazamientos fueron más lentos mismo que, a su vez, provocaban esos valores más altos que en el caso SC. Apartir de las 3,500 rpm hubo un cambio significativo en la velocidad, sin embargo, fueron las 6,500 y 8,000 rpm las que arrojaron los mejores resultados, con velocidades por debajo de los 10 mm/s a lo largo de toda la simulación.

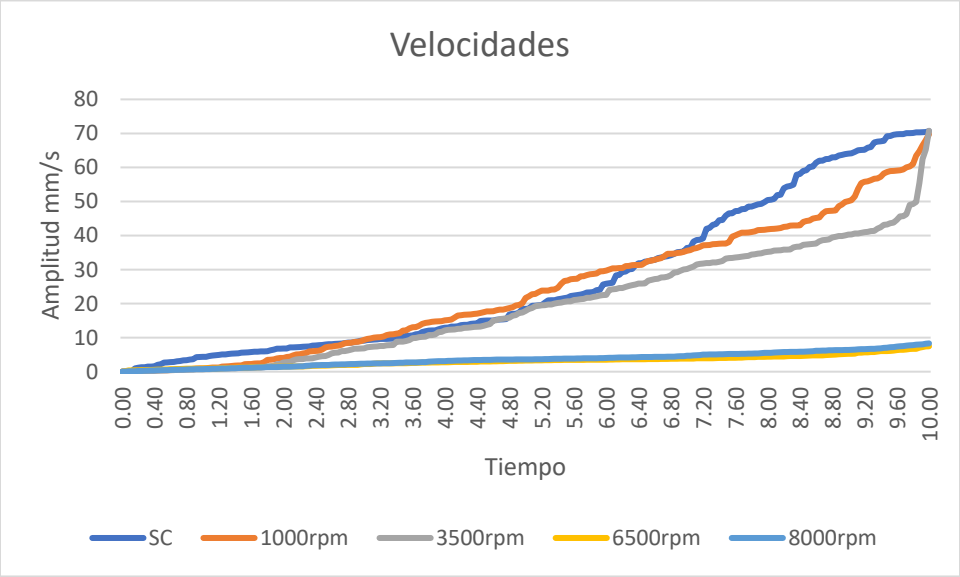


Ilustración 91 Comparación de velocidades de la mano con el dispositivo activado con diferentes rpm. Elaboración propia.

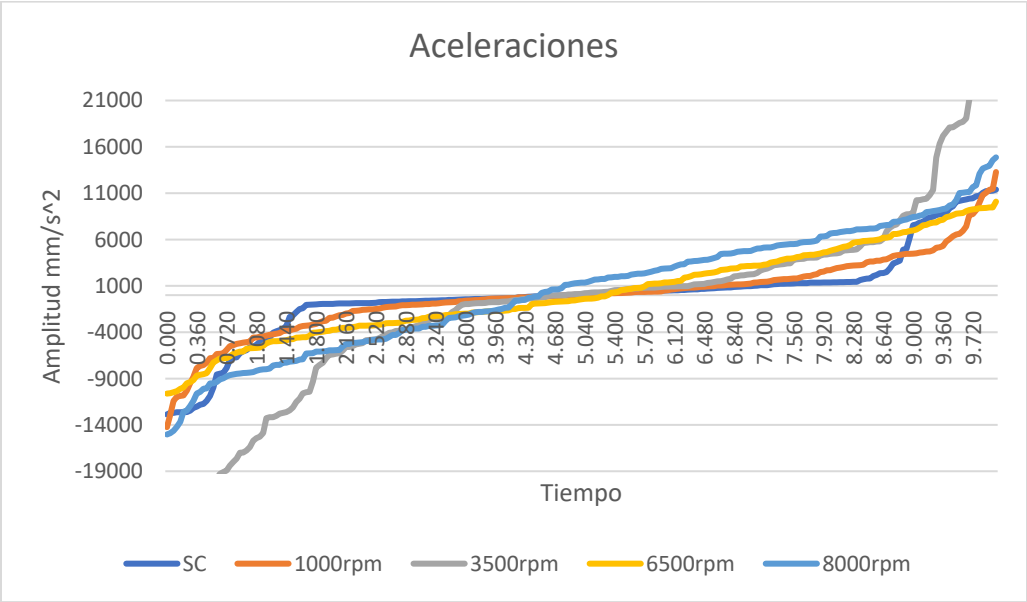


Ilustración 92 Comparación de aceleraciones de la mano con el dispositivo activado a diferentes rpm. Elaboración propia.

Aumento en el tiempo de simulación

Para tener un mejor estudio sobre la estabilidad del compensador, se aumentó el tiempo de la simulación de 10 a 20 segundos y distinguir cuál de las dos velocidades de 6,500 y 8,000 rpm del disco es la mejor.

6,500 rpm a 20 segundos de simulación

A continuación, se muestran las gráficas de desplazamiento, velocidad y aceleración lineal.

En la gráfica siguiente, se compara los valores obtenidos del sistema con el dispositivo desactivado y activado. La curva naranja muestra que la disminución de la amplitud disminuye y mantiene su forma con el tiempo sin que haya cambios abruptos en su desplazamiento. La disminución a pasado de estar de los 30 mm encontrase al menos entre los 0 y 10 mm lo que representa una mejoría de al menos un 67%.

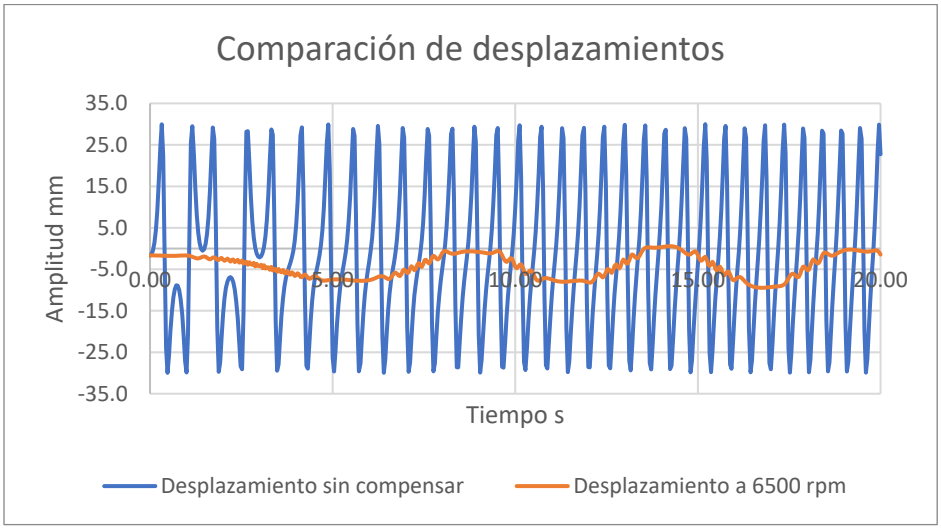


Ilustración 93 Comparación de desplazamientos entre los casos de compensador activado a 6,500 rpm y desactivado. Elaboración propia.

La gráfica de velocidad conserva la atenuación en el aumento del tiempo tal y como en el caso del desplazamiento, este, a pesar de estar cambiando constantemente de valores, la velocidad se mantiene por debajo de los 15 mm/s lo que representa una disminución de al menos un 80%

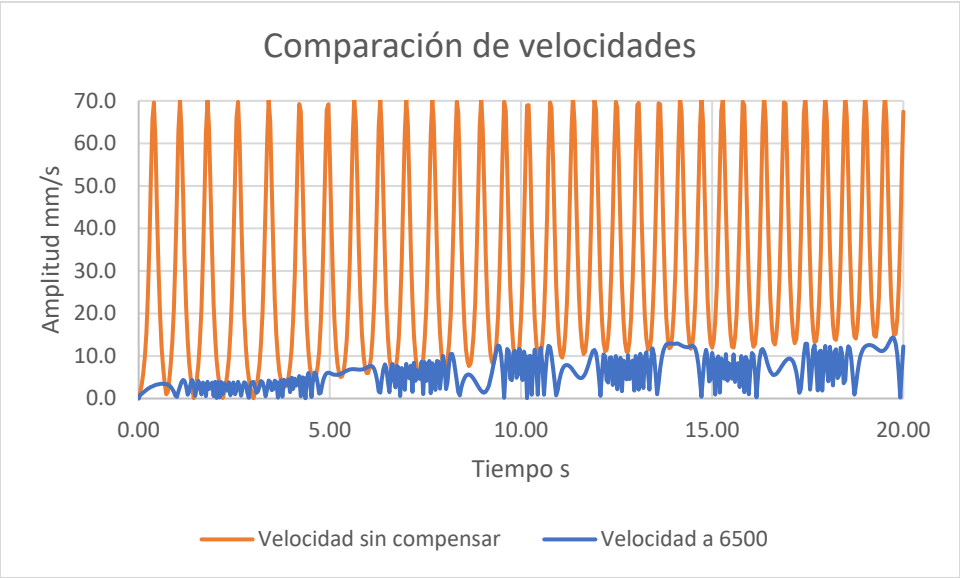


Ilustración 94 Comparación de velocidades entre los casos de compensador activado a 6,500 rpm y desactivado. Elaboración propia.

El caso de la aceleración es diferente a los anteriores, ya que sus valores sobrepasan los del estado sin compensar, sin embargo, esto se debe a que, con la actividad del dispositivo activado, este está en constante movimiento para contrarrestar las oscilaciones provocadas por los temblores que en este trabajo se han considerado como periódicos.

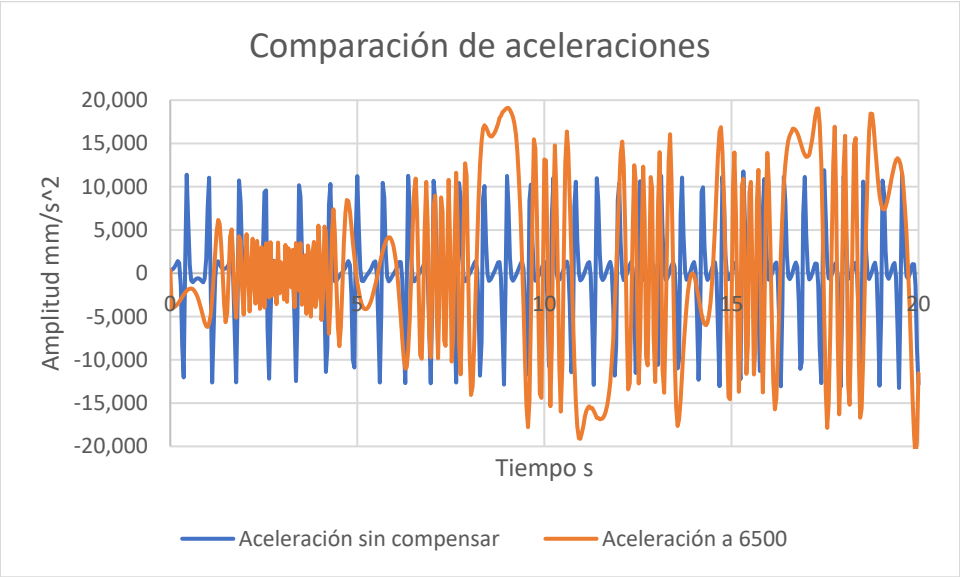


Ilustración 95 Comparación de aceleraciones entre los casos de compensador activado a 6,500 rpm y desactivado. Elaboración propia.

8,000 rpm a 20 segundos de simulación

Las siguientes gráficas coinciden con las anteriores en los aspectos a analizar como lo es el desplazamiento, velocidad y aceleración lineal.

La velocidad durante el aumento del tiempo no se alterada ni presenta picos que alcancen o superen los valores máximos de la simulación con el dispositivo desactivado. El desplazamiento se encuentra contenido entre los 0 a 10 mm, en contraste con la amplitud de 30 mm del dispositivo desactivado.

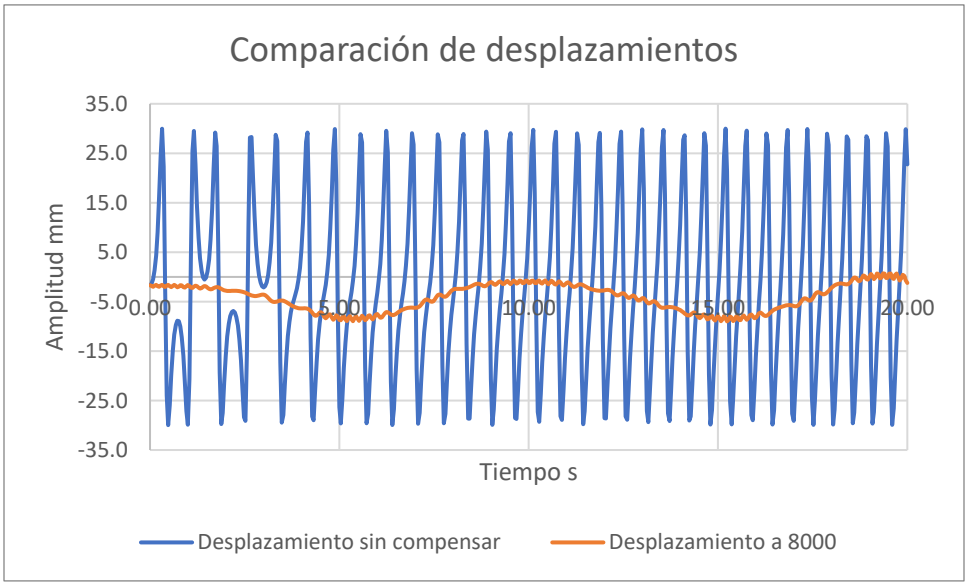


Ilustración 96 Comparación de desplazamientos entre los casos de compensador activado a 8,000 rpm y desactivado. Elaboración propia.

La gráfica de velocidades indica en relación con la de desplazamiento que el decremento en los valores máximos se conserva por debajo de los 10 mm/s sin igualarse a los 70 mm/s que alcanzaba el sistema con el dispositivo desactivado.

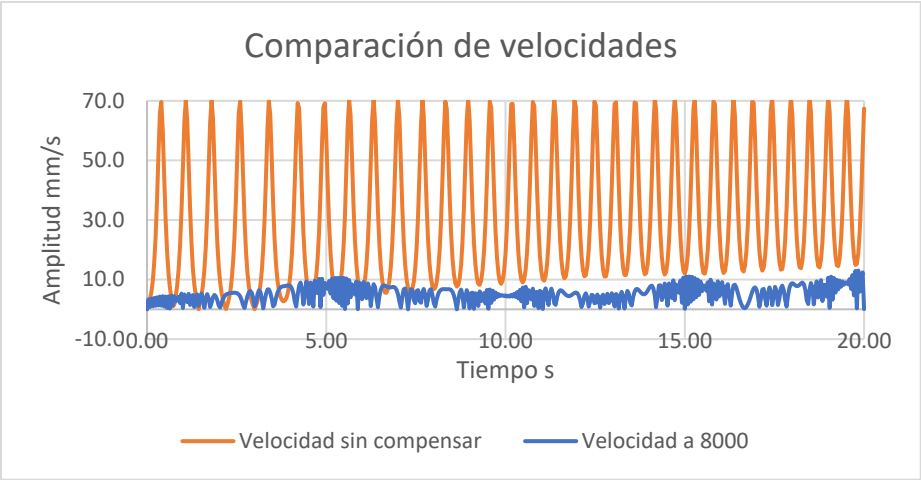


Ilustración 97 Comparación de velocidades entre los casos de compensador activado a 8,000 rpm y desactivado. Elaboración propia.

El caso de la aceleración se interpreta de la misma forma en la aceleración con 6,500 rpm del compensador, esto es que las aceleraciones son superiores a las del estado desactivado debido a que se están presentado cambios rápidos en la posición y velocidad, a pesar de que estas dos unidades físicas van acompañadas de valores pequeños como se ha mencionado anteriormente, estos están cambiando de magnitud rápidamente, lo que provoca que se requiera de altas aceleraciones, como en las simulaciones no se cuenta con un sistema de control que sea capaz de incrementar o decrecer la velocidad del disco y a su vez su aceleración, el sistema no podrá cancelar estas variaciones, sin embargo, cuenta con la suficiente carga inercial para mantener las amplitud de desplazamiento y velocidad a niveles mucho más bajos que en el caso del dispositivo desactivado.

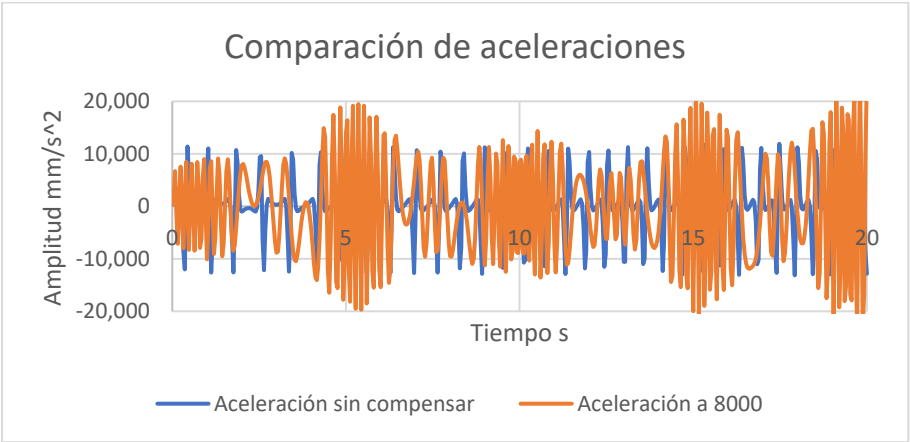


Ilustración 98 Comparación de aceleraciones entre los casos de compensador activado a 8,000 rpm y desactivado. Elaboración propia.

Se compararon los desplazamientos, velocidades y aceleraciones de ambas velocidades 6,500 rpm y 8,000 rpm para concluir cuál presenta mejor estabilidad a lo largo del tiempo. La gráfica 99 muestra el desplazamiento entre estas dos velocidades, mientras que la curva azul de 6,500 rpm tiene más picos en su amplitud, la otra curva tiene menos, además de presentar ligeramente menor

amplitud. Ambas curvas tienen valores negativos puesto que se encuentra por debajo del eje de referencia en el que se miden.

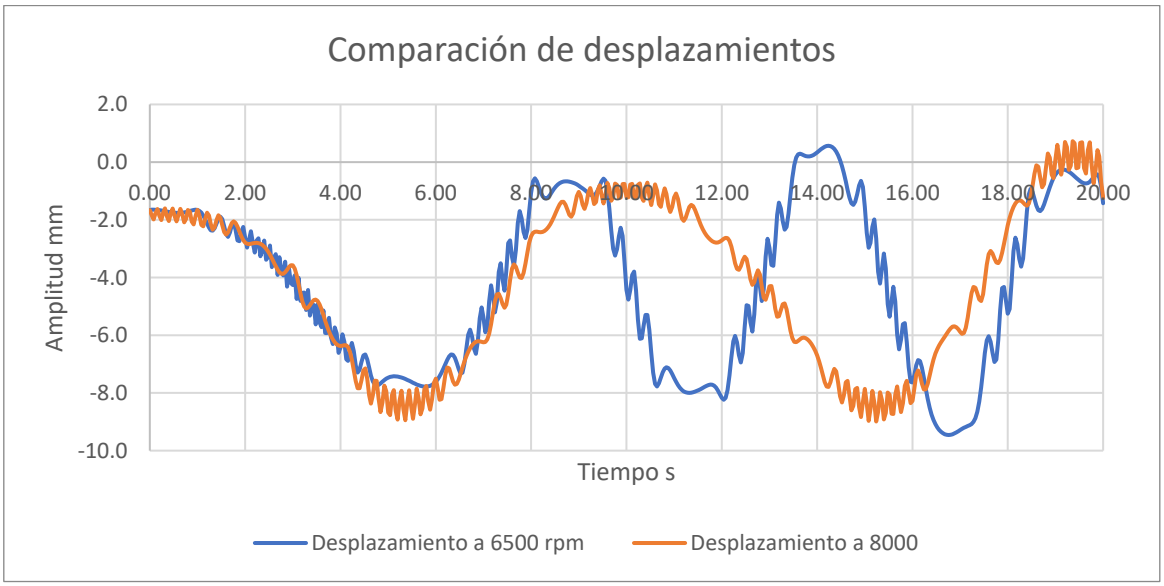


Ilustración 99 Comparación de desplazamientos entre los casos de velocidad de 6,500 rpm y 8,000 rpm. Elaboración propia.

La imagen de velocidades coincide nuevamente en el comportamiento de la de desplazamiento en mostrar una componente sinusoidal de menor con una menor frecuencia en la velocidad de 8,000 rpm que en la de 6,500 rpm lo que provoca que tenga una curva con menores amplitudes y picos.

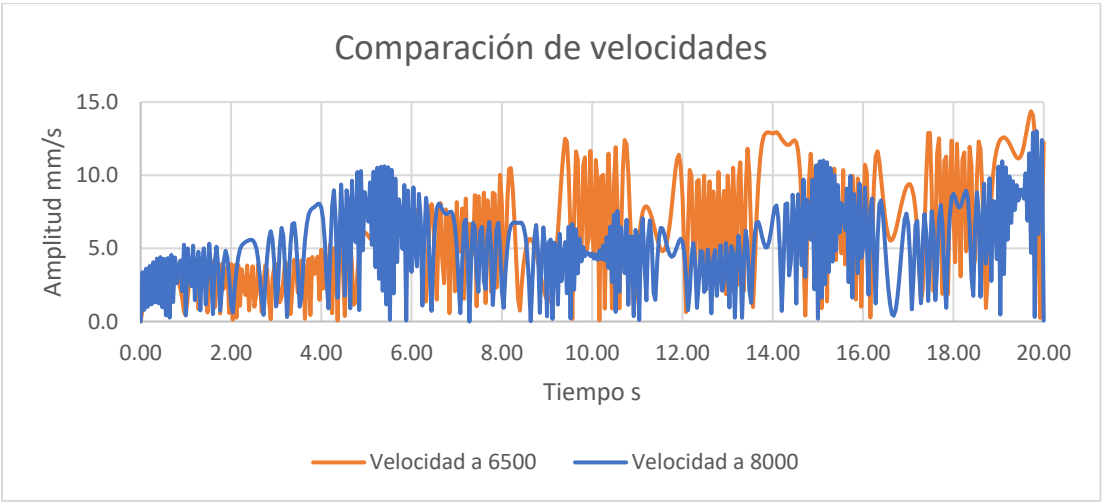


Ilustración 100 Comparación de velocidades entre los casos de velocidad de 6,500 rpm y 8,000 rpm. Elaboración propia.

En las gráficas anteriores, se puede apreciar que hay más componentes sinusoidales de mayor frecuencia, lo que les agrega esa característica oscilante entre los picos y valles. Este

comportamiento puede notarse nuevamente en las curvas de aceleración. La curva naranja presenta más picos y con valores más altos que la azul debido a que está cambiando constantemente de posición y velocidad el sistema, si bien los valores de esas dos medidas son pequeños, el comportamiento oscilante en los valores picos se debe a la aceleración.

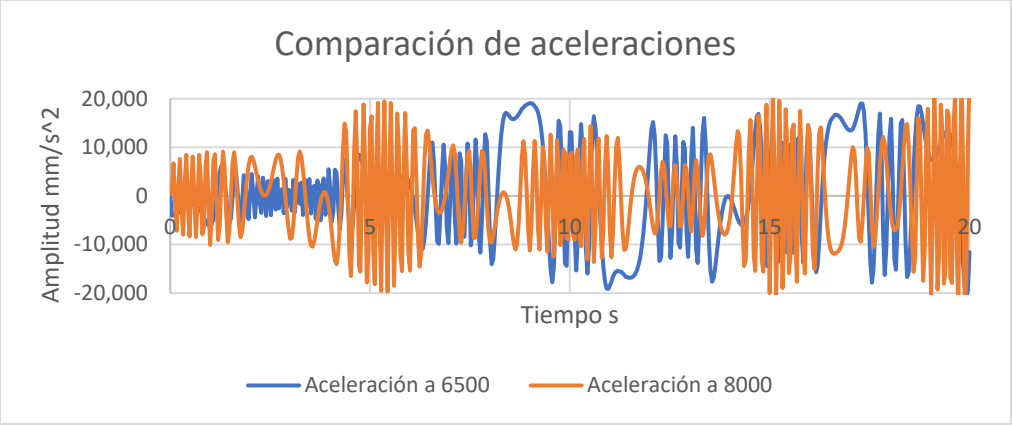


Ilustración 101 Comparación de velocidades entre los casos de velocidad de 6,500 rpm y 8,000 rpm. Elaboración propia.

La velocidad que mejor comportamiento tuvo a largo del análisis y con el aumento de tiempo fue la de 8,000 rpm por sus valores menores en las mediciones de amplitud y velocidad, además de que cuenta con una componente sinusoidal con la frecuencia más baja. Si bien, anteriormente la velocidad de 6,500 rpm tenía mejores resultados en el tiempo de simulación de 10 segundos, esto cambió al aumentar el tiempo a 20 segundos, con este cambio se pudo apreciar que la velocidad de 8,000 rpm presentaba mayor estabilidad a lo largo del tiempo.

Cabe mencionar que las características del giroscopio que son también un aspecto que considerar son las propiedades físicas del giroscopio, como la masa, que si bien con diferente peso se pueden alcanzar las velocidades de 6,500 y 8,000 rpm, el efecto compensador cambiará. Las propiedades físicas del giroscopio se muestran a continuación:

Giroscopio	Masa $[g]$	Volumen $[mm^3]$
	187.08	24,296.29

Tabla 13 Masa y volumen de giroscopio.

Pieza	Masa $[g]$
Tuercas	3.04
Aros	34.59
Giroscopio	187.08
Pulsera y base	60.28
Total	285.35

Tabla 14 Masa de piezas.

Conclusiones

A lo largo del desarrollo de la investigación, se ha apreciado cómo con la inercia rotacional que provee el giroscopio, es posible atenuar las discinesias modeladas en la simulación. La velocidad del giroscopio de 1,000 rpm como condición de prueba no fue suficiente para que los temblores fuesen minorizados. De hecho, el efecto de amortiguación comenzó justo a partir de los 3,500 rpm debido a que la forma de onda de los desplazamientos se vio reducida, siendo el mejor el resultado en 20 mm de desplazamiento a comparación de los 30 mm por arriba de la posición de reposo del modelo con el compensador desactivado. No obstante, los valores de la gráfica de aceleración se encuentran muy por arriba de los valores del modelo sin compensar, a pesar de una reducción importante durante los primeros segundos de la simulación, el sistema tuvo complicaciones para mantenerse estable.

La velocidad de los 6,500 rpm las oscilaciones de los temblores se reducen considerablemente, por debajo de esa velocidad la estabilidad del sistema para mantenerse estático se ve comprometida, lo que indica que los temblores no son atenuados. Estos efectos se aprecian en las gráficas de velocidad, desplazamiento y aceleración según los rpm establecidos.

El mayor efecto de atenuación de los temblores es proporcionado por las velocidades de 6,500 y 8,000 rpm, así que se realizó un segundo análisis para aumentar el tiempo de la simulación, las velocidades por debajo del 6,500 rpm no fueron simuladas puesto que no fueron suficientes para estabilizar el sistema, así que fueron utilizadas las mejores dos velocidades para discernir cuál provee la mayor atenuación por más tiempo.

Para este modelo propuesto de la mano, la velocidad a la que debe moverse el giroscopio y cuya compensación de temblores tiene un mayor efecto de compensación es a los 8,000 rpm.

Las gráficas de desplazamiento y velocidad mostraron cómo las amplitudes para cada magnitud física decrecen considerablemente, demostrando así el funcionamiento del dispositivo y su eficacia al compensar los temblores de la mano. La mayor parte de la masa del dispositivo se encuentra en el giroscopio, para que este sea el principal productor del momento angular. Los materiales de la cubierta y la base se mantuvieron ligeros para evitar una sobrecarga de peso sobre las articulaciones del usuario y que el uso no implicara sobreesfuerzo a la hora de mover las extremidades.

Se obtuvo una reducción de la velocidad lineal desde 70 mm/s hasta menos de 10 mm/s lo cual es una mejora de al menos un 85%, mientras que, en el desplazamiento el cambio fue de 30 mm a estar por debajo de 10 mm siendo esto un decremento en la amplitud de los temblores de al menos un 66%.

Como trabajo a futuro será fundamental el desarrollo y fabricación del dispositivo para su futura implementación. También se propone realizar un sistema de control para modular la velocidad del giroscopio para que funcione a revoluciones más bajas y controladas. La producción del compensador con un sistema de control dará pie a una experimentación con sujetos de prueba para analizar aspectos cualitativos como lo son la comodidad, la destreza para la activación de los diferentes instrumentos del vehículo e incluso el tiempo que cada usuario es capaz de usar el dispositivo.

Este trabajo ha sido presentado en:

- XII Congreso Nacional y II Internacional de Tecnología Aplicada a Ciencias de la Salud 2022.
- Semana Internacional del Cerebro BUAP 2022.

Como cartel participante en cada evento con el nombre de “Diseño de un sistema de ayuda para pacientes con Parkinson”.

El Comité Organizador del XII Congreso Nacional y II Internacional
de Tecnología Aplicada a Ciencias de la Salud
otorga la presente

CONSTANCIA

a:

José Carlos Sarmiento Sánchez, Ana Luz Muñoz Zurita,
Karim Monfil Leyva, Emilio Miguel Soto García,
Guillermo Muñoz Zurita

por su valiosa participación con la presentación del cartel intitulado
“DISEÑO DE UN SISTEMA DE AYUDA PARA PACIENTES CON PARKINSON”
Puebla, Puebla 09, 10 y 11 de junio de 2022

Dra. Laura Contreras Mioni
Presidente del Comité Organizador Local
UPAEP

Dr. Eduardo Tepichín Rodríguez
Presidente del Comité Organizador Nacional,
INAOE

Ilustración 102 Constancia de participación en concurso de carteles del CONITACS 2022.

El Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica,
la Universidad Nacional Autónoma de México, a través del
Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología y la Facultad de Medicina,
la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla,
la Universidad Iberoamericana Puebla y
la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

otorgan la presente

CONSTANCIA

al:

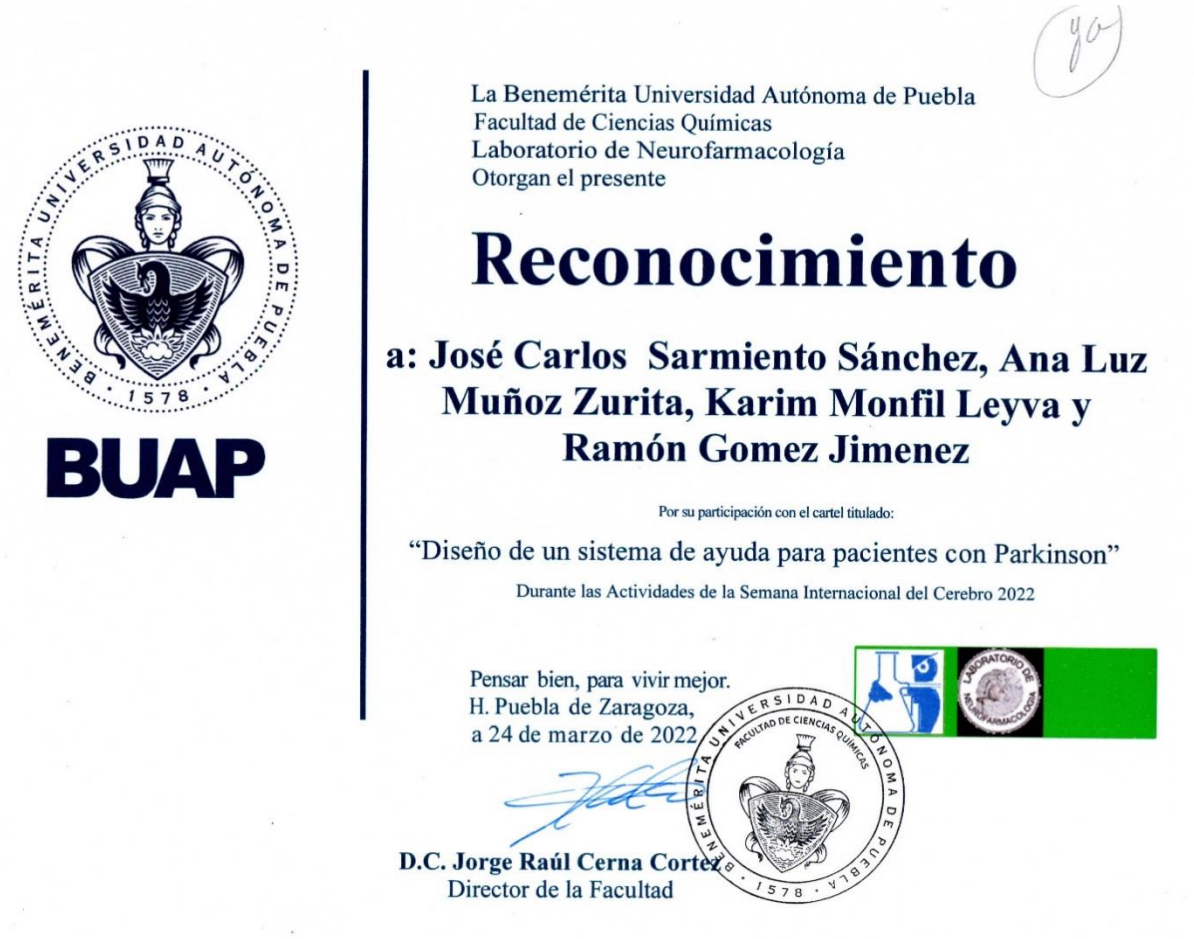
Ing. José Carlos Sarmiento Sánchez

por su asistencia al XII Congreso Nacional y II Internacional
de Tecnología Aplicada a Ciencias de la Salud.
Puebla, Puebla 09, 10 y 11 de junio de 2022

Dra. Laura Contreras Mioni
Presidente del Comité Organizador Local
UPAEP

Dr. Eduardo Tepichín Rodríguez
Presidente del Comité Organizador Nacional,
INAOE

Ilustración 103 Constancia de asistencia al CONITACS 2022.



La Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Facultad de Ciencias Químicas
Laboratorio de Neurofarmacología
Otorgan el presente

Reconocimiento

a: José Carlos Sarmiento Sánchez, Ana Luz Muñoz Zurita, Karim Monfil Leyva y Ramón Gomez Jimenez

Por su participación con el cartel titulado:

"Diseño de un sistema de ayuda para pacientes con Parkinson"

Durante las Actividades de la Semana Internacional del Cerebro 2022

Pensar bien, para vivir mejor.
H. Puebla de Zaragoza,
a 24 de marzo de 2022

D.C. Jorge Raúl Cerna Cortez
Director de la Facultad

Ilustración 104 Reconocimiento por participación en el concurso de carteles de la Semana Internacional del Cerebro 2022.

Anexo A

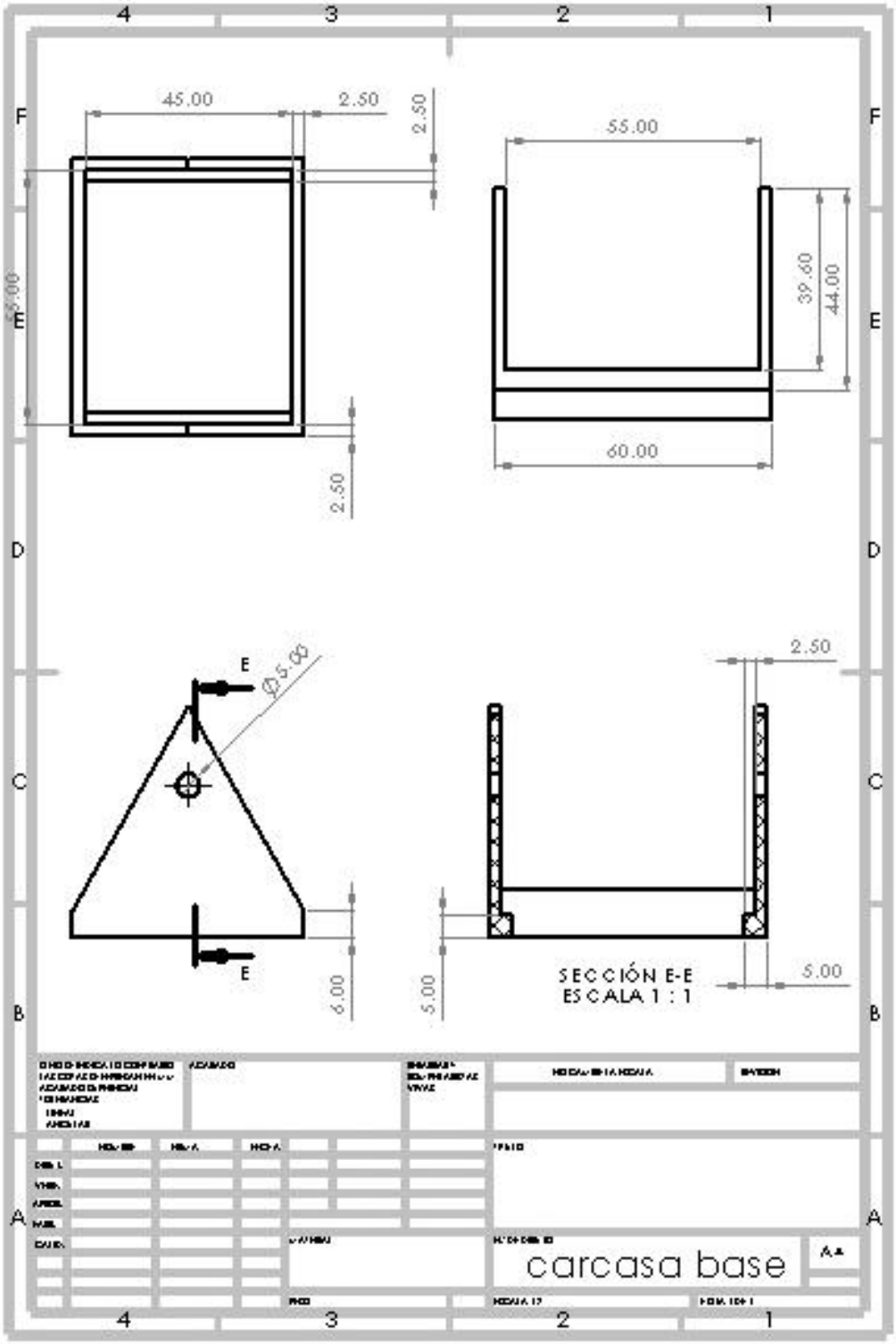


Ilustración 105 Dibujo técnico de la carcasa base.

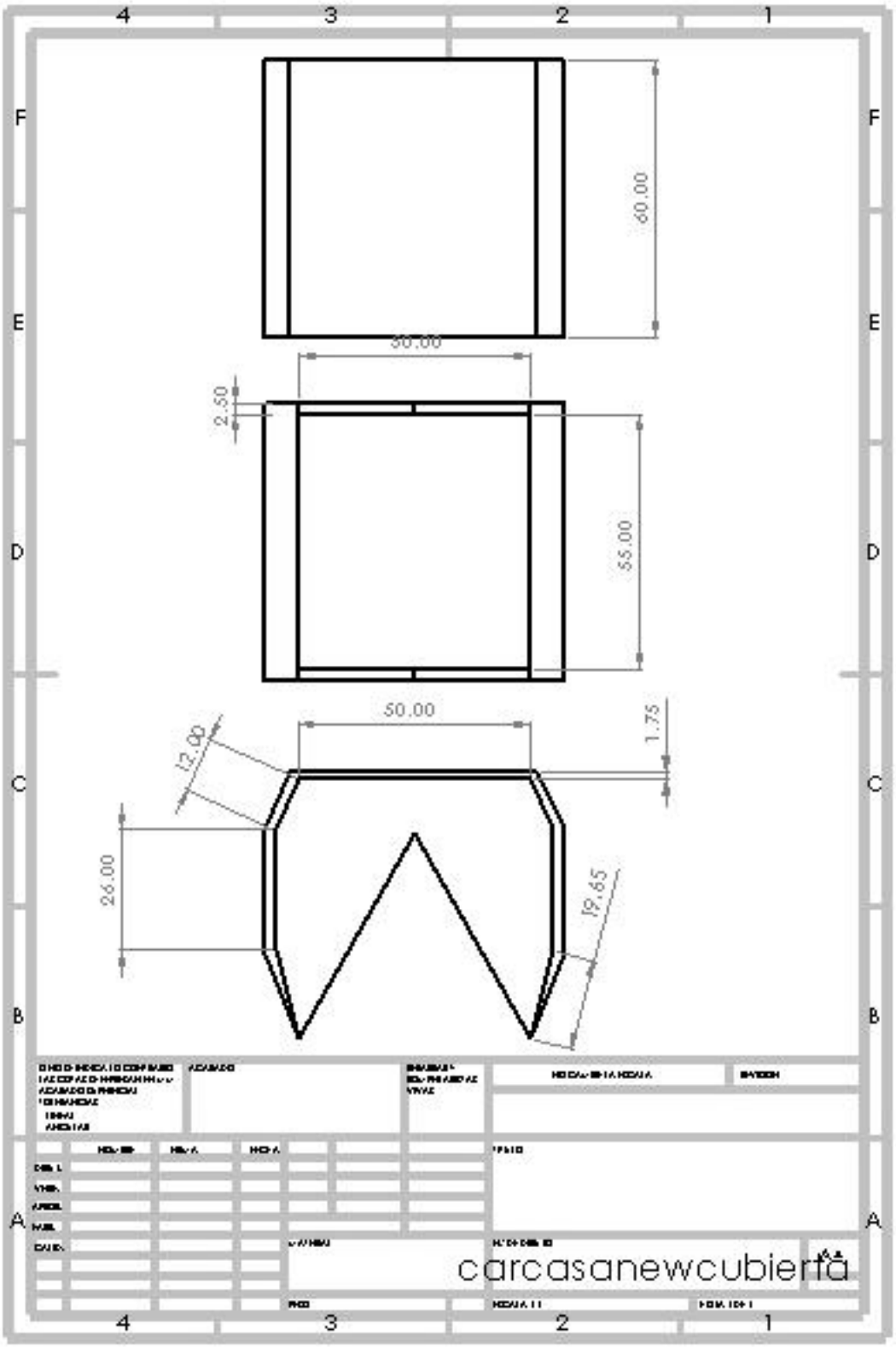


Ilustración 106 Dibujo técnico de cubierta.

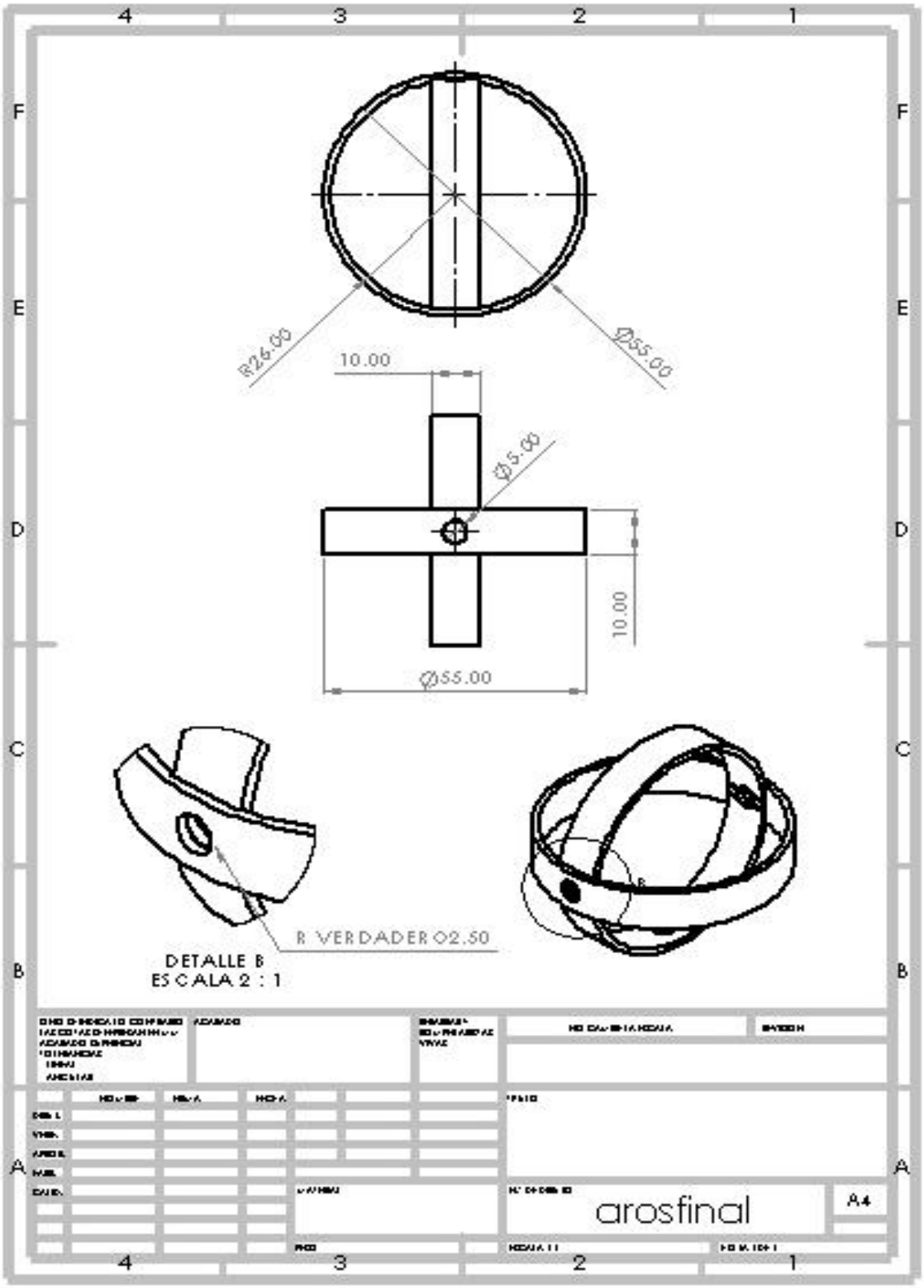


Ilustración 107 Dibujo técnico de aros para giroscopio 1/2.

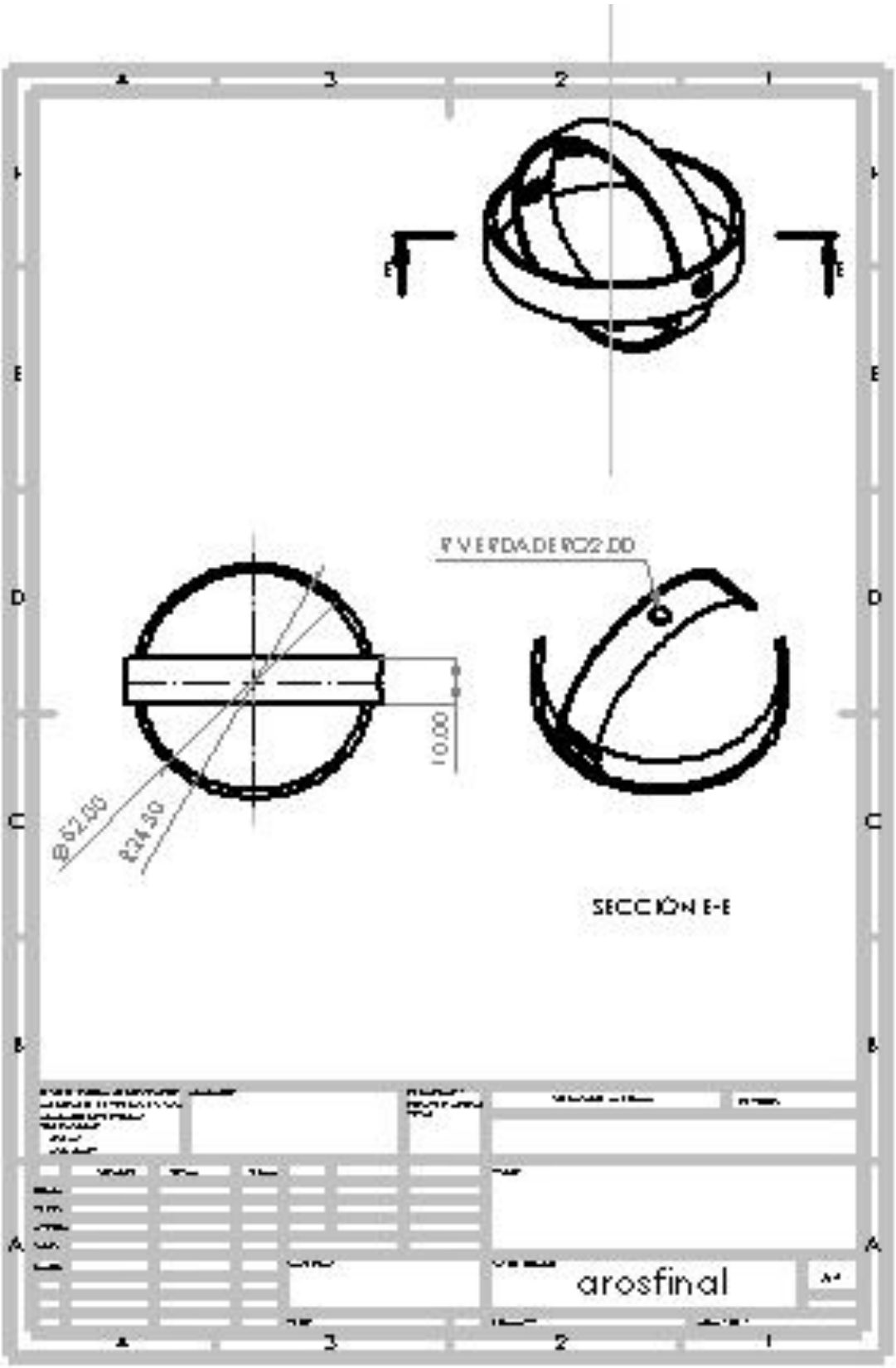


Ilustración 108 Dibujo técnico de aros para giroscopio 2/2.

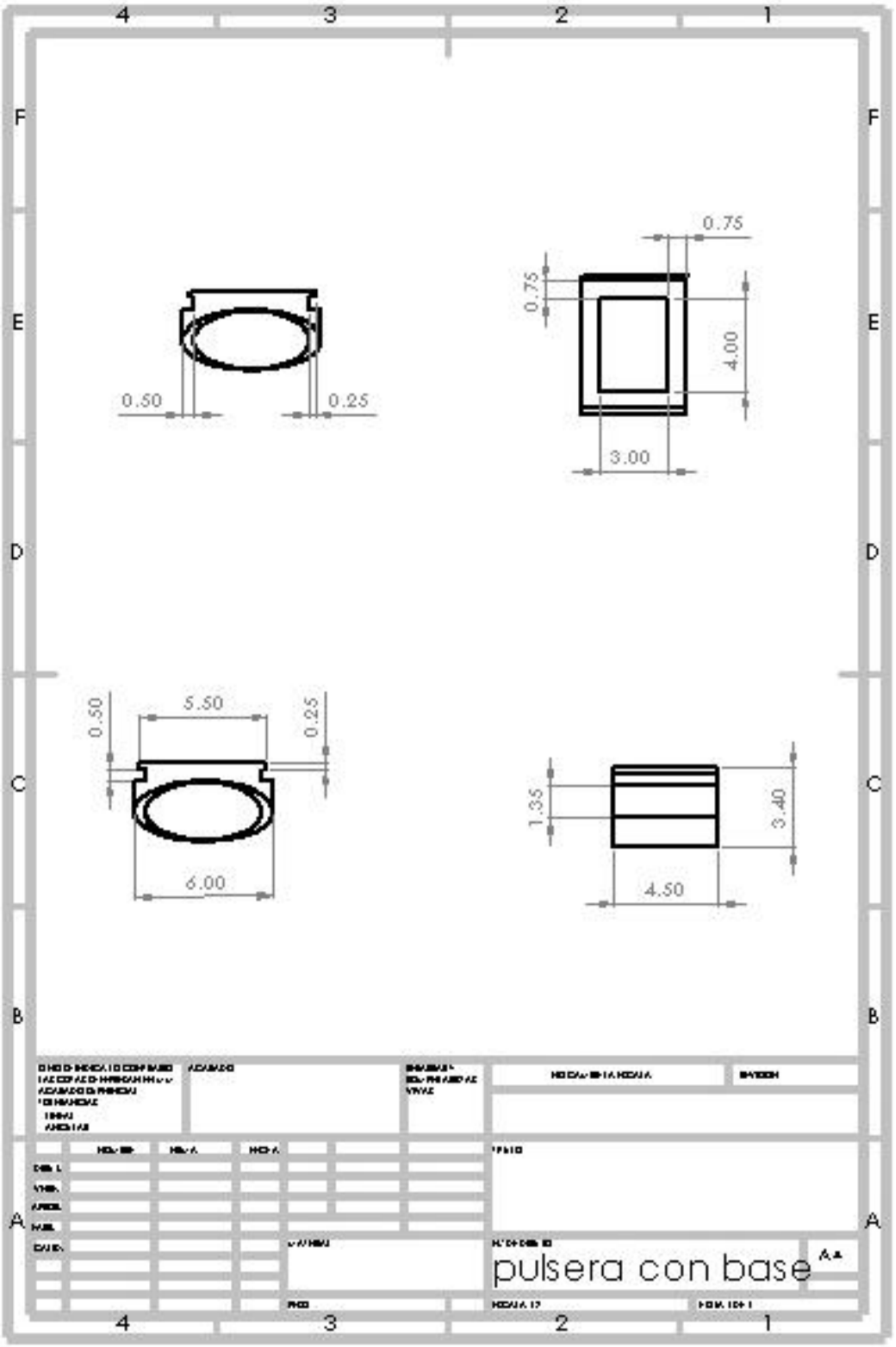


Ilustración 109 Dibujo técnico de pulsera con base.

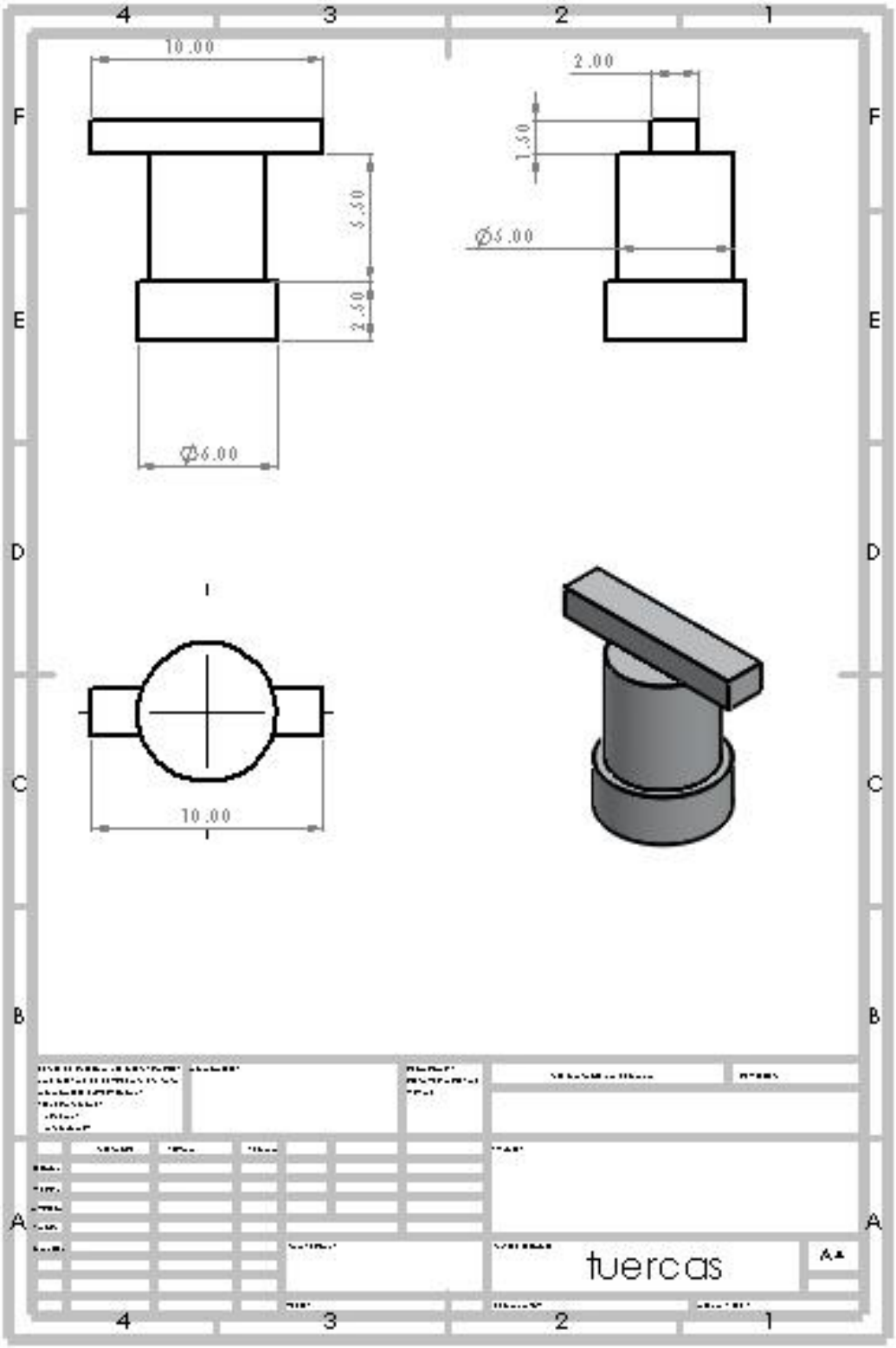


Ilustración 110 Dibujo técnico de tuercas.

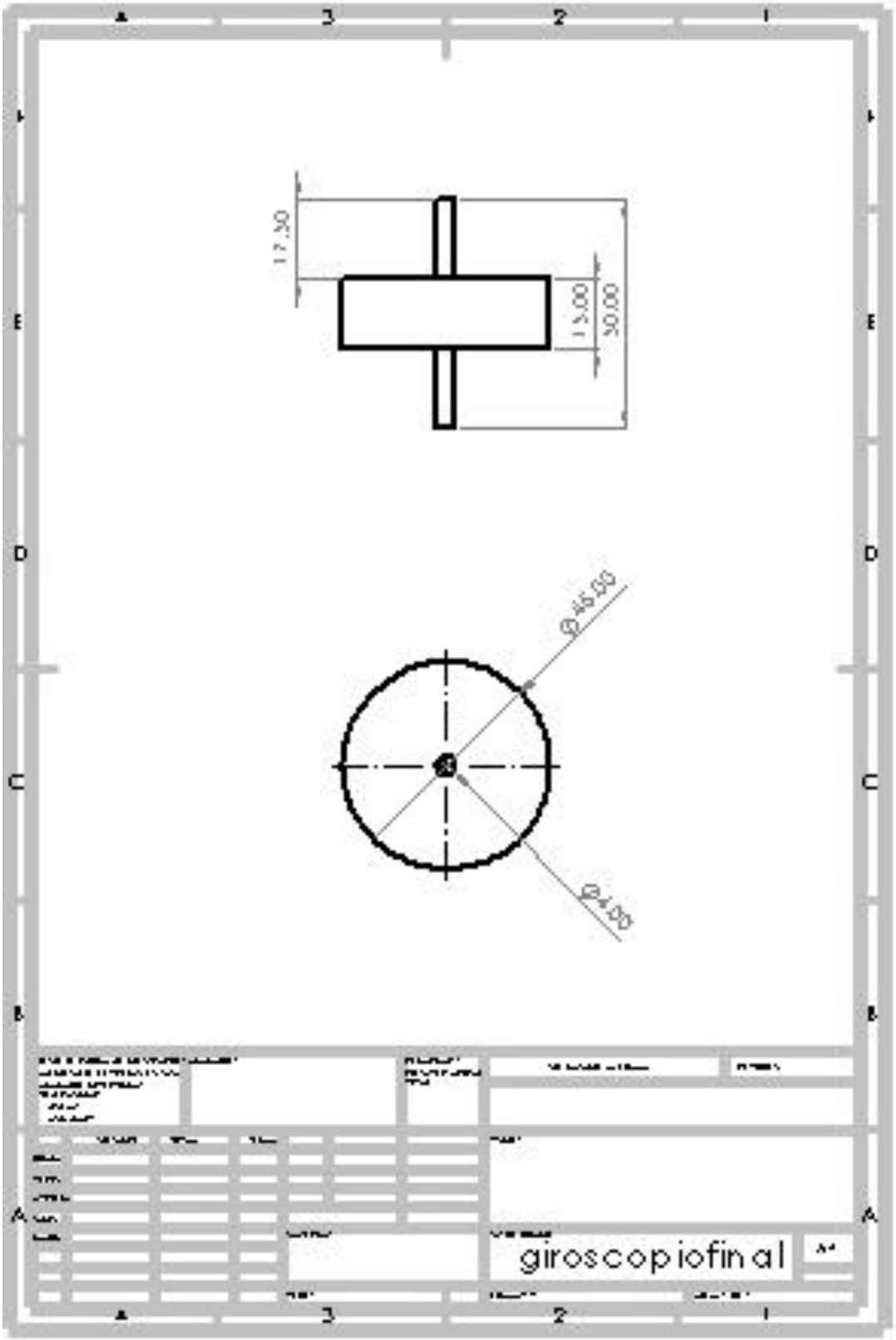


Ilustración 111 Dibujo técnico de giroscopio.

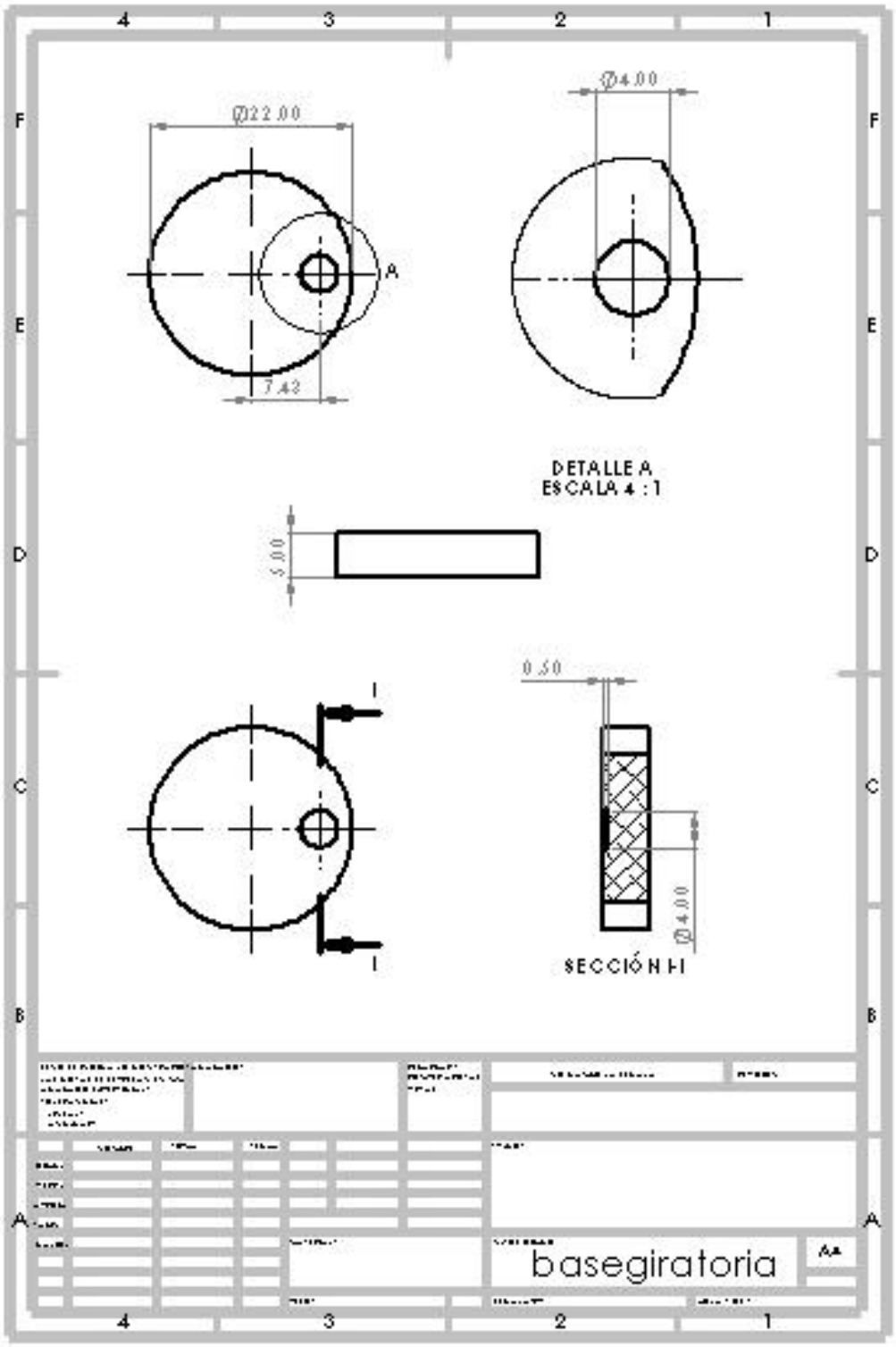


Ilustración 112 Dibujo técnico de base giratoria.

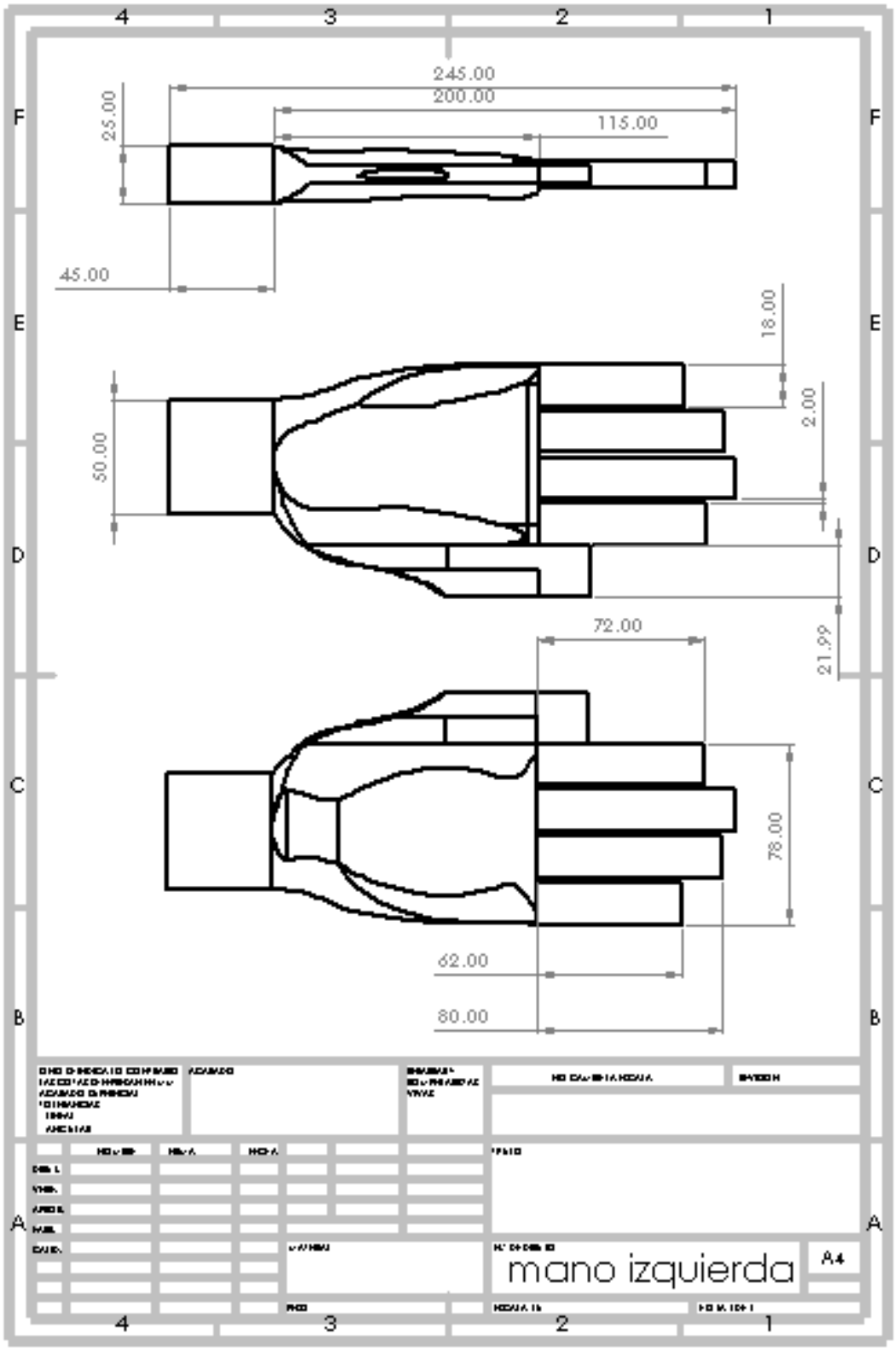


Ilustración 113 Dibujo técnico de mano izquierda.

Bibliografía

[1] Instituto Mexicano del Seguro Social, «El IMSS es la única institución de salud pública que trata a enfermos de Parkinson con estimulación cerebral profunda,» 2018. [En línea]. Available: https://www.gob.mx/imss/articulos/el-imss-es-la-unica-institucion-de-salud-publica-en-mexico-que-trata-a-enfermos-de-parkinson-con-estimulacion-cerebral-profunda.

[2] S. Antonio, «Emma Watch, la pulsera que permite volver a escribir a personas con parkinson,» ThinkBig, 2017. [En línea]. Available: https://blogthinkbig.com/emma-watch-la-pulsera-que-permite-volver-a-escribir-a-personas-con-parkinson. [Último acceso: 8 Octubre 2022].

[3] GyroGear, «GyroGear,» 2017. [En línea]. Available: https://gyrogear.co. [Último acceso: 10 Febrero 2023].

[4] M. Jesús, «Liftware Spoon,cuchara que compensa los temblores de personas con Parkinson,» Xataka, agosto 2013. [En línea]. Available: https://www.xataka.com/automovil/liftware-spoon-cuchara-que-compensa-los-temblores-de-personas-con-parkinson. [Último acceso: 8 Octubre 2022].

[5] D. Marín, M., H. Carmona, V., M. Ibarra, Q. y M. Gámez, C., «Enfermedad d eParkinson: fisiopatología, diagnóstico y tratamiento,» *Revista de la universidad Industrial de Santander. Salud.,* vol. L, nº 1, 2018.

[6] L. Villaseñor, *Cronología histórica de las amputaciones,* vol. XXXVII, ANGIOLOGIA, 2009, pp. 9-22.

[7] K. Norton, «Un breve recorrido por la historia de la prostética,» *inMotion,* vol. VXII, nº 7, pp. 2-5, 2007.

[8] S. Rubin y V. Murthy, «Dynamic orthosis with proportional resistance». Estados Unidos de América Patente 5,337,737, 1994.

[9] M. A. Kalvert, «Adjustable and tunable hand tremor stabilizer». Estados Unidos de América Patente US6730049B2, 2002.

[10] J. M. Belda Lois, I. Bermejo Bosch, F. Domenech Mollá y J. Durá, «Órtesis de muñeca». Patente WO2014080045A1, 30 Mayo 2014.

[11] J. Belda Lois, *Principios biomecánicos para la supresión del temblor por medios ortésicos,* Valencia, 2009.

[12] Gyenno Science, «Gyenno Spoon,» 2016. [En línea]. Available: https://www.gyenno.com/spoon-en.

[13] CalaTrio, Cala Trio, 2019. [En línea]. Available: https://calatrio.com. [Último acceso: 8 Octubre 2022].

[14] Fundación Mapfre, «Tipos de sistemas ADAS,» Fundación Mapfre, [En línea]. Available: https://www.fundacionmapfre.org/educacion-divulgacion/seguridad-vial/sistemas-adas/tipos/. [Último acceso: 7 Febrero 2023].

[15] Milenio Digital, «Éstas son las 10 marcas de autos más vendidasen México en 2022,» Milenio NEgocios, 27 Diciembre 2022. [En línea]. Available: https://www.milenio.com/negocios/autos-vendidas-mexico-2022-lista-completa-inegi. [Último acceso: 7 Febrero 2023].

[16] D. K. Young Kim, K. Bretney y A. L. Tsang, «Vehículo estabilizado giroscópicamente». España Patente ES2506965T3, 25 Enero 2011.

[17] Instituto de Biomecánica de Valencia, «Una órtesis diseñada por un grupo multidisciplinar de investigadores consigue reducir el temblor producido por el Parkinson,» *IBV,* 1 Julio 2005.

[18] E. Rocon, A. F. Ruiz, J. M. Belda-Lois, J. C. Moreno, J. L. Pons, R. Raya y R. Ceres, «Diseño, desarrollo y validación de dispositivo robótico para la supresión del temblor patológico,» *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial,* vol. V, nº 2, pp. 79-92, Abril 2008.

[19] J. S. Lora-Millán, G. Delgado-Oleas, J. Benito-León y E. Rocon, «A review on wearable technologies for termor suppression,» *frontiers in Neurology,* vol. XII, 2021.

[20] P. De Panisse, Y. Ibrahim, J. Medeisis, T. Lasiman, N. Lyubomirov Vaklev, J. Ong Faii, B. Gan, B. Koh, X. Soler Laguarta y C. W. Lou Ngan, «Tremor stabilisation apparatus and methods». Patente WO2016102958A1, 22 Diciembre 2015.

[21] Fundación Madrid Jiménez Díaz, «Prehistoria de la enfermedad de Parkinson,» *Neurología,* vol. XIX, nº 10, pp. 735-737, 2004.

[22] F. E. Micheli, Enfermedad de Parkinson y trastornos relacionados, Buenos Aires: Panamericana, 2006.

[23] INN, *Gobierno de México,* INN, Ed., 2017.

[24] C. E. Sandoval, C. E. Sandoval, Ed., Elsevier, 2018.

[25] Grupo de trabajo de la Guía de Práctica Clínica para el Manejo de Pacientes con Enfermedad de Parkinson., Guía de práctica clínica para el manejo de pacientes con enfermedad de Parkinson, Guía de Práctica Clínica en el SNS ed., Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad.: Instituto Aragonés de Ciencias de la Salud, 2014.

[26] E. Palacios Sánchez, A. Virginia González, J. Angélica Vicuña y L. Villmizar, «Calidad de vida de los pacientes con enfermedad de Parkinson valorados en un hospital universitario de Bogotá, Colombia,» *Neurología Argentina,* vol. XI, nº 3, pp. 151-158, 2019.

[27] D. Martínez Ramírez, M. Rodríguez Violante, A. González Cantú, E. Velázquez Ávila, A. Cervantes Arriaga, T. Corona y L. Velásquez Pérez, «Incidencia y distribución geográfica de la enfermedad de Parkinson en México,» *Salud Pública de México,* vol. LXII, nº 6, 2022.

[28] Orphanet, «Enfermedad de Parkinson de inicio juvenil,» Orphanet, s.f.. [En línea]. Available: https://www.orpha.net/consor/cgi-bin/OC_Exp.php?lng=ES&Expert=2828. [Último acceso: 7 Abril 2023].

[29] A. Crail, «Gatopardo,» Central de ciencia, 25 Marzo 2022. [En línea]. Available: https://gatopardo.com/opinion/central-de-ciencia-opinion/parkinson-jovenes-sintomas-enfermedad/. [Último acceso: 7 Abril 2023].

[30] H. Rouvière y A. Delmas, Anatomía Humana descriptiva, topográfica y funcional, Barcelona: Masson, 2005.

[31] M. Latarjet y A. Ruiz Liard, Anatomía Humana, Buenos Aires: Médica Panamericana, 2011.

[32] American Academy of the Orthopaedic Surgeons, Medición clínica del movimiento articular, Ciudad de México: Grupo Mind Mexico, s.f..

[33] R. T. Floyd, Manual of Structural Kinesiology, Decimoctavo ed., New York: McGraw Hill, 2012.

[34] Federación Española de Enfermedades Neuromusculares, «El Músculo esquelético,» Association Française les Myopathies, Francia, 2003.

[35] P. Pozo Rosas, 14 ed., Buenos Aires, 2010.

[36] O. Osorio Anderson, «Tipos de contracciona musculares. Características y usos en tratamientos de fisioterapia,» 26 Marzo 2021. [En línea]. Available: https://www.fisioterapia-online.com/articulos/tipos-de-contracciones-musculares-caracteristicas-y-usos-en-tratamientos-de-fisioterapia.

[37] O. Guy-Evans, *Motor neuron: function, types, and structure.,* 2021.

[38] C. Serrano, «Neurona,» 2 Agosto 2022. [En línea]. Available: https://www.kenhub.com/es/library/anatomia-es/neurona.

[39] J. Jordán, *Avances en el tratamiento de las enfermedades neurodegenerativas,* vol. XXII, Offarm, 2003, pp. 102-114.

[40] K. Gasnick, «What are Voluntary Muscles?,» 24 Septiembre 2021. [En línea]. Available: https://www.verywellhealth.com/voluntary-muscles-5199032#:~:text=Westend61%20%2F%20Getty%20Images-

,What%20Is%20the%20Difference%20Between%20Voluntary%20and%20Involuntary%20Muscles%3F,are%20not%20under%20conscious%20control..

[41] M. T. Angulo Carrere, *Biomecánica clínica,* 2010 ed., vol. 2, 2010.

[42] S. Plagenhoef, E. F.Gaynor y T. Abdelnour, *Anatomical Data for Analyzing Human Motion,* vol. 54, 1983, pp. 169-178.

[43] R. Drills, R. Contini y M. Bluestein, *Body Segment Parameters,* s.f..

[44] J. Zhang, Y. Xing, X. Ma y L. Feng, «Differential Diagnosis of Parkinson Disease, Essential Tremor, and Enhanced Physiological Tremor with the Tremor Analysis ofEMG,» *Parkinson's Disease,* vol. 2017, p. 4, 2017.

[45] H. Gonzalez-Usigli, «Manual MSD Versión para público general,» Febrero 2022. [En línea]. Available: https://www.msdmanuals.com/es-co/hogar/enfermedades-cerebrales,-medulares-y-nerviosas/trastornos-del-movimiento/enfermedad-de-parkinson.

[46] C. Juri C y P. Chaná C, *La Levodopa en la enfermedad de Parkinson: ¿Qué hemos aprendido?,* vol. 134, 2006, pp. 893-901.

[47] R. Leal-Ortega, vol. XXXII, 2021.

[48] «Mayo Clinic,» Septiembre 2021. [En línea]. Available: https://www.mayoclinic.org/es-es/tests-procedures/deep-brain-stimulation/about/pac-20384562#:~:text=La%20estimulación%20cerebral%20profunda%20comprende,sustancias%20químicas%20dentro%20del%20cerebro..

[49] Y. Xiao, F. Agnesi, E. M. Bello, S. Zhang, J. L. Vitek y M. D. Johnson, *Deep brain stimulation induces sparse distributions of locally modulated neuronal activity,* 2018 ed., vol. XII, Scientific Reports, 2018.

[50] J. G. Pilitsis y O. Khazen, «Deep Brain Stimulation,» s.f.. [En línea]. Available: https://www.aans.org/en/Patients/Neurosurgical-Conditions-and-Treatments/Deep-Brain-Stimulation. [Último acceso: 7 Octubre 2022].

[51] D. S. Marin-Medina, J. F. Quintero-Moreno, A. Vásquez Valencia, C. Duque-Salazar, A. F. Gil-Restrepo, J. P. Castaño-Montoya, D. García-Rodríguez y H. Carmona-Villada, *Estimulación cerebral profunda en enfermedad de Parkinson,* vol. XXXI, Medellín: Iatreia, 2018.

[52] E. Rocon, A. F. Ruiz, J. M. Belda-Lois, J. C. Moreno, J. L. Pons, R. Raya y R. Ceres, «Diseño, desarrollo y validación de dispositivo robótico para la supresión del temblor patológico,» *Revista Iberoamaericana de Automática e Informática Industrial,* vol. V, nº 2, pp. 79-82, 2008.

[53] Project Emma, Microsoft, 1 Junio 2017. [En línea]. Available: https://www.microsoft.com/en-us/research/project/project-emma/. [Último acceso: 8 Octubre 2022].

[54] Dopa Solution, «ARC,» Commercial equipment student notable, s.f.. [En línea]. Available: https://designawards.core77.com/Commercial-Equipment/29557/ARC#:~:text=ARC%20is%20the%20first%20pen,of%20writing%20or%20drawing%20altogether.. [Último acceso: 9 Octubre 2022].

[55] Liftware, «Liftware,» Liftware, s.f.. [En línea]. Available: https://www.liftware.com. [Último acceso: 9 Octubre 2022].

[56] Gyrogear, «Gyroglove,» Gyrogear, s.f.. [En línea]. Available: https://gyrogear.co/gyroglove. [Último acceso: 9 Octubre 2022].

[57] EMO Especialistas en ortopedia, *Ortésica, ayudas técnicas, mastectomía, cojines antiescaras, suministros y calzado terapéutico,* 2022.

[58] A. Melao, «Daily use of Cala Trio device effectively eases hand tremors, trial reports,» BioNews, Inc., 30 Septiembre 2019. [En línea]. Available: https://parkinsonsnewstoday.com/news/cala-trio-device-effectively-eases-hand-tremors-clinical-trial-reports/#:~:text=Cala%20Trio%20is%20a%20wrist,for%20better%20control%20of%20movement.. [Último acceso: 8 Octubre 2019].

[59] Editorial Team, «The Emma Watch: a wearable device to ease PD tremors,» ParkinsonsDisease.net, 19 Marzo 2019. [En línea]. Available: https://parkinsonsdisease.net/news/emma-watch-wearable-device-tremors. [Último acceso: Julio 2022].

[60] S. Saba, «Micrografía; 5 preguntas y respuestas comunes,» Creative Neurology, s.f.. [En línea]. Available: https://davisphinneyfoundation.org/wp-content/uploads/2021/03/Saba-Shahid-Micrographia-5-Questions-and-Answers-Spanish-Final.pdf. [Último acceso: 9 Octubre 2022].

[61] Liftware, «Liftware,» Liftware, s.f.. [En línea]. Available: https://www.liftware.com/steady/. [Último acceso: 9 Octubre 2022].

[62] Ibáñez, «Xataka,» 18 Abril 2017. [En línea]. Available: https://www.xataka.com/automovil/de-0-a-5-cuales-son-los-diferentes-niveles-de-conduccion-autonoma. [Último acceso: 8 Abril 2023].

[63] Federal Highway Research Institute, «Report on the research project F 1100.5409013.01 of the operational programme of the Federal Highway Research Institute: Legal consequences of an increase in the vehicle automation,» Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, s.f..

[64] Sociedad de Ingenieros Automotrices, «SAE INTERNATIONAL,» SAE Mobilus, 30 Abril 2021. [En línea]. Available: https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104/. [Último acceso: 9 Abril 2023].

[65] SAE INTERNATIONAL, «SAE Levels of Driving Automation Refined for Clarity and International Audience,» SAE Mobilus, 3 Mayo 2021. [En línea]. Available: https://www.sae.org/blog/sae-j3016-update. [Último acceso: 9 Abril 2023].

[66] S. Barrantes, A. Sánchez Egea, H. Rojas, M. Martí, Y. Compta y F. Valldeoriola, «Differential diagnosis between Parkinson's disease and essential tremor using the smartphone's accelerometer,» *PLOS ONE,* vol. XII, nº 8, 25 Agosto 2017.

[67] Instituto Nacional de Cáncer, *electrodo superficial.*

[68] E. Granados, «Electrodos húmedos, secos, activos y pasivos. ¿Qué son, y cuál elegir?,» Brain Support, 27 Febrero 2019. [En línea]. Available: https://www.brainlatam.com/blog/electrodos-humedos-secos-activos-y-pasivos.-¿que-son-y-cual-elegir-412. [Último acceso: 27 Abril 2023].

[69] O. Binvignat, A. Almagià, P. Lizana y E. Olave, *Aspectos Biométricos de la Mano de Individuos Chilenos,* vol. XXX, International Journal of Morphology, 2012, pp. 599-606.

[70] Servei Estació, «¿Qué es el velcro y para qué sirve?,» [En línea]. Available: https://serveiestacio.com/blog/que-es-el-velcro-usos-y-aplicaciones/#:~:text=El%20velcro%20adhesivo%20hook%20and,a%20las%20que%20deben%20juntarse.. [Último acceso: 3 Diciembre 2022].

[71] «Ventajas delos envases de poliestireno expandido (EPS),» Canales Sectoriales, 20 Julio 2012. [En línea]. Available: https://www.interempresas.net/Envase/Articulos/98651-Ventajas-de-los-envases-de-poliestireno-expandido-(EPS).html. [Último acceso: 3 Diciembre 2022].

[72] Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología , «CONACYT,» s.f.. [En línea]. Available: https://conacyt.mx/wp-content/uploads/sni/marco_legal/criterios/Anexo_Nivel_de_Madurez_Tecnologica.pdf. [Último acceso: 6 Abril 2023].

[73] M. L. Russell, Science in the Ancient World From Antiquity through the Middle Ages, EStados Unidos de América: ABC-Clio, 2021.

[74] S. Arias Rivas, C. Íñiguez Martínez y J. M. Láinez Andrés, Manual de neurología y conducción, ediciones SEN, 2021.

[75] R. Dr. Espinoza, P. Espinoza y F. Montellano, *La travesía desde las amputaciones como pena corporal a los trasplantes de extremidad,* vol. LXII, Santiago de Chile: Revista Chilena de Cirugía, 2011, pp. 211-216.

Índice/tablas/imágenes

Tabla 1 Sistemas de asistencia de los autos más vendidos en México 2022. Elaboración propia e información obtenida del Catálogo Nissan y Kia respectivamente. 14
Tabla 2 Medidas de las extremidades superiores 32
Tabla 3 Medidas de las extremidades superiores y el cuerpo 32
Tabla 4 Peso absoluto y relativo de segmentos del cuerpo 32
Tabla 5 Valores de temblores en Parkinson en diferentes situaciones 33
Tabla 6 Frecuencias dentro del espectro de temblores del Parkinson. 51
Tabla 7 Longitudes de la mano derecha de hombres y mujeres chilenos tomados de Aspectos Biométricos de la mano de individuos chilenos [46]. 53
Tabla 8 Medidas de la mano. Elaboración propia. 53
Tabla 9 Longitud de dedos y falanges. Elaboración propia. 53
Tabla 10 Masa de segmentos y porcentajes de Plagenhoef. 55
Tabla 11 Propiedades físicas del modelo de la mano. 55
Tabla 12 Valores pico de las gráficas de velocidades de componentes Y, Z y magnitud. 67
Tabla 13 Masa y volumen de giroscopio. 91
Tabla 14 Masa de piezas. 91

Ilustración 1 Dispositivo Gyenno Spoon. Gyenno Science. Recuperado de: https://www.gyenno.com/spoon-en 12
Ilustración 2 Incidencia de Parkinson por Estados mexicano. 20
Ilustración 3 Incidencia anual en México por año. 20
Ilustración 4 Incidencia de Parkinson por edades. 21
Ilustración 5 F. Netter. M.D. (s.f.) Título: Músculos individualizados del antebrazo: rotadores del radio. Recuperado el 18 de agosto 2022 del libro: Netter, F. (2019) Atlas de Anatomía Humana (7ma Ed.) España: Elsevier. 22
Ilustración 6 [Esqueleto de la mano] (s.f.) Recuperado el 16 de agosto de 2022. Anatomía Humana. Descriptiva, Topografía y Funcional. 23
Ilustración 7 F. Netter. M.D. (s.f.) Título: Antebrazo derecho: visión anterior (palmar) Recuperado el 18 de agosto 2022 del libro: Netter, F. (2019) Atlas de Anatomía Humana (7ma Ed.) España: Elsevier. 25
Ilustración 8 F. Netter. M.D. (s.f.) Título: Antebrazo derecho: visiones posteriores (dorsales) Recuperado el 18 de agosto 2022 del libro: Netter, F. (2019) Atlas de Anatomía Humana (7ma Ed.) España: Elsevier. 26
Ilustración 9 Título: Neurona. (s.f.) Recuperado el 23 de agosto 2022 del libro: Miller, K., Levine, J. (2010) Biology (1 edición) Boston. Pearson. 29
Ilustración 10 Cuestionario sobre dificultades al conducir de automovilistas con Parkinson. 36
Ilustración 11 Gráfica poligonal sobre tiempos de diagnóstico y edad de los encuestados. 37
Ilustración 12 Principales detonantes de temblores en la mano según encuestados. 37
Ilustración 13 Preparaciones para antes de conducir que toman los encuestados. 38

Ilustración 14 Tiempo estimado de tiempo de conducción por día según la edad de los encuestados. 39
Ilustración 15 Título: Versión final de WOTAS (s.f.) Recuperado el 8 de octubre 2022 de [33] (2008) Comité Español de Automática. 42
Ilustración 16 Título: Cala Trio (s.f.) Recuperado el 8 de octubre 2022 de [33] (2019) 42
Ilustración 17 Título: Emma Watch (s.f.) Recuperado el 8 de octubre 2022 (2017) Microsoft 43
Ilustración 18 Título: Escritura de Emma Lawton antes y durante el uso de Emma Watch (s.f.) Recuperado el 8 de octubre 2022 (2017) Microsoft. 44
Ilustración 19 Título: ARC Pen structure (s.f.) Recuperado el 9 de octubre 2022 Dopa Solution. 44
Ilustración 20 Título: Tenedor Liftwear. (s.f.) Recuperado el 9 de octubre 2022 de: Liftware by verily. 45
Ilustración 21 Título:Gyroglove. (s.f.) Recuperado el 9 de octubre 2022 de: GyroGear. 45
Ilustración 22 Título: TE100 TREMED Férula para el temblor esencial. (s.f.) Recuperado el 9 de octubre 2022 de: EMO especialistas en ortopedia. 46
Ilustración 23 Clasificaciones de distintos niveles de conducción autónoma con SAE siendo referente internacional. 47
Ilustración 24 Ejemplos de sistemas de asistencia y de conducción autónomos en los niveles de autonomía proporcionados por la SAE en la clasificación SAE J 3016. 49
Ilustración 25 Electrodos superficiales adheribles a). Sensor MPU6050 acelerómetro b). 50
Ilustración 26 Ondas sinusoidales de temblor de Parkinson según el estado de la persona: descanso, en postura, en movimiento. 51
Ilustración 27 Ondas sinusoidales con componente sinusoidal de 6Hz. 52
Ilustración 28 Ondas sinusoidales con componente sinusoidal de 5Hz. 52
Ilustración 29 Vista isométrica. 54
Ilustración 30 Vista lateral. 54
Ilustración 31 Vista superior. 54
Ilustración 32 Modelo de la mano izquierda renderizado, vista isométrica. 55
Ilustración 33 Pulsera del compensador 56
Ilustración 34 Modelo de la mano izquierda con pulsera del compensador. 56
Ilustración 35 Cinta de velcro con adhesivo en la parte trasera. 57
Ilustración 36 Código de clasificación de plásticos del poliestireno 57
Ilustración 37 Compensador con pulsera. Vista isométrica. 58
Ilustración 38 Compensador con pulsera. Vista frontal. 58
Ilustración 39 Base del compensador. 59
Ilustración 40 Tuerca de sujeción de la base y giroscopio. 59
Ilustración 41 Anillos del giroscopio. 60
Ilustración 42 Giroscopio. 60
Ilustración 43 Base y giroscopio. 60
Ilustración 44 Compensador cubierto 61
Ilustración 45 Pulsera compensadora 61
Ilustración 46 Mano izquierda con compensador acoplado renderizados. 62
Ilustración 47 Mano con compensador completo. 62
Ilustración 48 Encuesta de madurez de la tecnología resuelta. 64
Ilustración 49 Base eje de giro. 65

Ilustración 50 Ensamble de la base de giro 65
Ilustración 51 Velocidad lineal en la componente Y. 66
Ilustración 52 Velocidad lineal en la componente Z. 66
Ilustración 53 Magnitud de la velocidad lineal de la mano izquierda sin compensar 66
Ilustración 54 Aceleración lineal en la componente Y. 67
Ilustración 55 Aceleración lineal en la componente Z. 67
Ilustración 56 Magnitud de la aceleración lineal de la mano izquierda sin compensar. 67
Ilustración 57 Componente X de velocidad angular 68
Ilustración 58 Magnitud de la velocidad angular sin compensar de la mano izquierda. 68
Ilustración 59 Componente X de la aceleración angular. 69
Ilustración 60 Magnitud de la aceleración angular de la mano izquierda sin compensar. 69
Ilustración 61 Magnitud de la velocidad lineal. 70
Ilustración 62 Aceleración lineal. 70
Ilustración 63 Magnitud de la velocidad angular. 70
Ilustración 64 Magnitud de la aceleración angular. 71
Ilustración 65 Desplazamiento lineal a 1,000 rpm. 71
Ilustración 66 Gráfica de velocidades de la mano normales y compensados. Elaboración propia. . 72
Ilustración 67 Comparación de los valores de velocidades de la mano. Elaaoración propia. 72
Ilustración 68 Gráfica de velocidades de la mano normales y compensados Elaboración propia. .. 73
Ilustración 69 Gráfico de valores de aceleración normales y compensados ordenados. Elaboración propia. 73
Ilustración 70 Gráfica de desplazamientos de la mano normales y compensados. Elaboración propia. 74
Ilustración 71 Comparación de valores de desplazamientos de la mano normales y compensados ordenados. Elaboración propia. 74
Ilustración 72 Gráfica de velocidades de la mano normales y compensados. Elaboración propia. . 75
Ilustración 73 Gráfica de velocidades de la mano normales y compensados ordenados. Elaboración propia. 75
Ilustración 74 Gráfica de aceleraciones de la mano normales y compensados. Elaboración propia. 76
Ilustración 75 Gráfica de aceleraciones de la mano normales y compensados ordenados. Elaboración propia. 76
Ilustración 76 Gráfica de desplazamientos de la mano normales y compensados. Elaboración propia. 77
Ilustración 77 Gráfica de desplazamiento de la mano normales y compensados ordenados. Elaboración propia. 77
Ilustración 78 Gráfica de velocidades de la mano normales y compensados. Elaboración propia. . 78
Ilustración 79 Gráfica de velocidades de la mano normales y compensados ordenados. Elaboración propia. 79
Ilustración 80 Gráfica de aceleraciones de la mano normales y compensados. Elaboración propia. 79
Ilustración 81 Gráfica de aceleraciones de la mano normales y compensados ordenados. Elaboración propia. 80

Ilustración 82 Gráfica de desplazamientos de la mano normales y compensados. Elaboración propia. 80
Ilustración 83 Gráfica de desplazamientos de la mano normales y compensados ordenados. Elaboración propia. 81
Ilustración 84 Gráfica de velocidades de la mano normales y compensados. Elaboración propia. . 81
Ilustración 85 Gráfica de velocidades de la mano normales y compensados. Elaboración propia. . 82
Ilustración 86 Gráfica de aceleraciones de la mano normales y compensados. Elaboración propia. 82
Ilustración 87 Gráfica de aceleraciones de la mano normales y compensados. Elaboración propia. 83
Ilustración 88 Gráfica de desplazamientos de la mano normales y compensados. Elaboración propia. 83
Ilustración 89 Gráfica de desplazamientos de la mano normales y compensados ordenados. Elaboración propia. 84
Ilustración 90 Comparación de desplazamientos de la mano con el dispositivo activado con rpm diferentes. Elaboración propia. 84
Ilustración 91 Comparación de velocidades de la mano con el dispositivo activado con diferentes rpm. Elaboración propia. 85
Ilustración 92 Comparación de aceleraciones de la mano con el dispositivo activado a diferentes rpm. Elaboración propia. 85
Ilustración 93 Comparación de desplazamientos entre los casos de compensador activado a 6,500 rpm y desactivado. Elaboración propia. 86
Ilustración 94 Comparación de velocidades entre los casos de compensador activado a 6,500 rpm y desactivado. Elaboración propia. 87
Ilustración 95 Comparación de aceleraciones entre los casos de compensador activado a 6,500 rpm y desactivado. Elaboración propia. 87
Ilustración 96 Comparación de desplazamientos entre los casos de compensador activado a 8,000 rpm y desactivado. Elaboración propia. 88
Ilustración 97 Comparación de velocidades entre los casos de compensador activado a 8,000 rpm y desactivado. Elaboración propia. 89
Ilustración 98 Comparación de aceleraciones entre los casos de compensador activado a 8,000 rpm y desactivado. Elaboración propia. 89
Ilustración 99 Comparación de desplazamientos entre los casos de velocidad de 6,500 rpm y 8,000 rpm. Elaboración propia. 90
Ilustración 100 Comparación de velocidades entre los casos de velocidad de 6,500 rpm y 8,000 rpm. Elaboración propia. 90
Ilustración 101 Comparación de velocidades entre los casos de velocidad de 6,500 rpm y 8,000 rpm. Elaboración propia. 91
Ilustración 102 Constancia de participación en concurso de carteles del CONITACS 2022. 93
Ilustración 103 Constancia de asistencia al CONITACS 2022. 94
Ilustración 104 Reconocimiento por participación en el concurso de carteles de la Semana Internacional del Cerebro 2022. 95
Ilustración 105 Dibujo técnico de la carcasa base. 96
Ilustración 106 Dibujo técnico de cubierta. 97

Ilustración 107 Dibujo técnico de aros para giroscopio 1/2. 98
Ilustración 108 Dibujo técnico de aros para giroscopio 2/2. 99
Ilustración 109 Dibujo técnico de pulsera con base. 100
Ilustración 110 Dibujo técnico de tuercas. 101
Ilustración 111 Dibujo técnico de giroscopio. 102
Ilustración 112 Dibujo técnico de base giratoria. 103
Ilustración 113 Dibujo técnico de mano izquierda. 104

Ecuación 2.5. 1 Momento lineal en términos de fuerza y la distancia al punto de apoyo. 31
Ecuación 2.5. 2 Momento angular en términos del momento lineal y el desplazamiento angular. 31