

# Análisis biomecánico deportivo para rehabilitación de la enfermedad de parkinson caso de estudio tenis de mesa.

Sports biomechanical analysis for rehabilitation of Parkinson's disease case study table tennis.

Velandia D. María P., López A. María A., Hernández B. Ruben D.  
*Departamento de Ingeniería Biomédica, Facultad de Ingeniería Campus Nueva Granada  
semillero de investigación InMed, Universidad Militar Nueva Granada, Colombia,  
est.maria.velandia, est.mariaa.lopeza, ruben.hernandez}@unimilitar.edu.co}*

Digital Object Identifier (DOI):  
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.618>  
ISBN: 978-958-52071-8-9 ISSN: 2414-6390

# Análisis biomecánico deportivo para rehabilitación de la enfermedad de parkinson caso de estudio tenis de mesa.

Sports biomechanical analysis for rehabilitation of Parkinson's disease case study table tennis.

Velandia D. María P., López A. María A., Hernández B. Ruben D.  
Departamento de Ingeniería Biomédica, Facultad de Ingeniería Campus Nueva Granada  
semillero de investigación InMed, Universidad Militar Nueva Granada, Colombia,  
est.maria.velandia, est.mariaa.lopeza, ruben.hernandez}@unimilitar.edu.co}

**Resumen**– En este artículo se presenta un análisis investigativo el cual está enfocado en el estudio de diferentes parámetros físicos y biomecánicos de los golpes más importantes del tenis de mesa con el fin de determinar la eficiencia que tiene este deporte como tratamiento no invasivo de neuropatías degenerativas como el Parkinson, generando una solución biomédica que permita mitigar los síntomas que se presentan cuando la enfermedad está en estado leve o moderado mejorando la calidad de vida de dichos pacientes. Para este estudio se obtienen los datos y se grafican en el software Matlab® donde se obtienen las gráficas respectivas en función del tiempo y se compara la fuerza en la marcha de una persona sana (PS) y una persona con Parkinson (EP) teniendo en cuenta la fuerza de reacción vertical del suelo en el pie derecho y en el pie izquierdo mediante 16 sensores. Luego de esto, se realiza la captura de la posición de 39 marcadores durante los 3 movimientos más importantes del tenis de mesa (ataque, defensa y revés) en una persona sana para luego compararlos con los mismos movimientos realizados por una persona con dicha neuropatía antes y después de llevar a cabo el plan de rehabilitación y así verificar si se presenta una mejoría en la ejecución de cada golpe y disminución de síntomas motores y posturales que contribuyan a mitigar la enfermedad.

**Palabras clave**-- Biomecánica, Parkinson, tratamiento, tenis de mesa.

**Abstract**– This article presents an investigative analysis which is focused on the study of different physical and biomechanical parameters of the most important strokes of table tennis in order to determine the efficiency of this sport as a non-invasive treatment of degenerative neuropathies such as Parkinson's, generating a biomedical solution that allows mitigating the symptoms that occur when the disease is in a mild or moderate state, improving the quality of life of these patients. For this study, the data are obtained and plotted in the Matlab® software where the respective graphs are obtained as a function of time and the gait strength of a healthy person (PS) and a person with Parkinson's (PD) is compared, considering the vertical ground reaction force in the right foot and the left foot using 16 sensors. After this, the position of 39 markers is captured during the 3 most important table tennis movements (forehand drive, backhand drive and topspin) in a healthy person and then compare them with the same movements performed by a person with said neuropathy before and after carrying out the

rehabilitation plan and thus verifying if there is an improvement in the execution of each stroke and a decrease in motor and postural symptoms that contribute to mitigating the disease.

**Keywords**-- Biomechanics, Parkinson's, treatment, table tennis.

## I. INTRODUCCIÓN

El tenis de mesa es un deporte el cual exige continuamente movimientos de arranque y frenado, los cuales generan que el deportista desarrolle una alta capacidad de coordinación y agilidad, para ejecutar exitosamente cada uno de los golpes teniendo en cuenta la técnica correcta de cada uno de ellos. En este deporte los reflejos y la coordinación son imprescindibles destacando la rapidez de los movimientos y la repetitividad de cada posición y cada golpe durante una sesión de entrenamiento. Además de esto, el tenis de mesa es un deporte que se puede practicar a cualquier edad, desde los más jóvenes hasta las personas con edades más avanzadas, ofreciendo grandes beneficios de salud mejorando la concentración, la memoria y el equilibrio.

El Parkinson es una neuropatía degenerativa causada por la pérdida de neuronas que producen dopamina disminuyendo la secreción de dicho neurotransmisor generando irregularidades en la actividad cerebral [1]. Se presentan diferentes síntomas, los cuales se presentan de manera gradual empezando con un temblor apenas perceptible y avanzando hasta generar problemas para caminar, comer y hablar. Entre los síntomas más comunes se encuentran:

- Bradicinesia, genera que con el tiempo se presente dificultad a la hora de realizar las actividades más simples como ponerse de pie, además, a la hora de caminar la persona presenta dificultad para levantar los pies lo que ocasiona que se den pasos más cortos y lentos. [1]

- Rigidez muscular, la cual ocurre en cualquier parte del cuerpo generando dolor y limitación de los movimientos, el habla y la escritura. [1]
- Alteración postural generada por la rigidez muscular, lo que ocasiona un constante encorvamiento afectando además el equilibrio. [1]

Dicha enfermedad no tiene cura, pero sí diferentes tratamientos con el objetivo de retrasar la evolución o disminuir los síntomas que se presentan a lo largo de la enfermedad. Entre los más efectivos se encuentran el uso de fármacos para disminuir afecciones motoras; actividad física enfocada en el equilibrio y estiramiento muscular y la estimulación cerebral profunda enviando impulsos eléctricos al cerebro mediante la implantación de electrodos.

Debido a su actividad aeróbica y motriz, se propone el tenis de mesa como tratamiento para la enfermedad de Parkinson en pacientes en estado leve y moderado, con el fin de mitigar los síntomas de manera no invasiva mediante la repetición de golpes y movimientos característicos de este deporte. Se realiza un estudio biomecánico empleando diferentes herramientas de captura de movimientos para obtener valores de fuerza en el proceso de marcha de una persona sana y de una persona con Parkinson, además de esto, se obtienen los valores de posición durante la ejecución de los golpes de tenis de mesa con un deportista de alto rendimiento para posteriormente compararlos con los movimientos de una persona con dicha neuropatía. Esta captura de datos se realiza antes y después de llevar a cabo todo el plan de rehabilitación, para verificar si se presenta mejoría al finalizar cada una de las sesiones de terapia y establecer la eficacia de este deporte como tratamiento para la mitigación de síntomas presentes en el Parkinson.

## II. ESTADO DEL ARTE

### **Eficacia de un programa intensivo y continuado de fisioterapia para la mejoría clínica en pacientes con enfermedad de Parkinson**

En [2] se estudió la mejoría de los pacientes de Parkinson que realizan fisioterapia basándose en la escala de Unified Parkinson's Disease Rating Scale (UPDRS). Se incluyeron a 26 pacientes que padecen de Parkinson en un rango de edad entre 55 a 80 años, estos cumplían una serie de requisitos entre los que se encontraba: Estadio Hoehn-Yahr I, II o III, reacción estable a la medicación anti-Parkinson y no haber participado en ningún programa de fisioterapia o rehabilitación los 4 meses previos.[2] Se dividieron los sujetos en dos grupos, el primero de ellos recibió tratamiento farmacológico (grupo control) y el segundo recibió fisioterapia y tratamiento farmacológico (grupo experimental). Para realizar el estudio se siguió un protocolo fisioterapéutico que consiste en sesiones de grupo con una duración de 90 minutos donde se realizaron ejercicios cardiovasculares, estiramientos, fuerza funcional, entrenamiento de marcha guiado por señales auditivas,

equilibrio, juegos y finalmente ejercicios de relajación. Después de 32 semanas los pacientes del grupo experimental presentaron un descenso en la puntuación media del examen motor y modificaciones significativas de las variables del cuello, postura, equilibrio y marcha [2]

### **Protocolo terapéutico de la enfermedad de Parkinson**

En [3] se establece un algoritmo terapéutico de la enfermedad de Parkinson con el fin de establecer el mejor tratamiento personalizado que puede recibir un paciente con esta enfermedad. En caso de que el paciente no presente incapacidad funcional la mejor opción es el uso de neuroprotector con rasagilina; este es un inhibidor tipo B que actúa incrementando la concentración de algunas sustancias presentes en el cerebro [3]. Cuando se presenta una incapacidad en estado leve, se opta por suministrar agonistas dopaminérgicos que producen una estimulación en los receptores de este tipo siempre y cuando no se presente deterioro motor, ya que, en este caso se adiciona Levodopa/carbidopa. Si la incapacidad funcional es moderada o severa (lo que indica que se presenta deficiencia motora, además de movimientos anormales involuntarios) [3], se administran inhibidores de la enzima que degrada la dopamina como la Amantadina y la Catecol-o-metiltransferasa (ICOMT). Como última instancia, al no presentar mitigación de los síntomas, se debe optar por la estimulación cerebral profunda.

### **Aplicación de un programa de ejercicios con atención focalizada en 2 pacientes afectados por síndrome de Parkinson-plus**

En [4] se realiza un estudio a 2 varones de 69 y 55 años respectivamente diagnosticados con síndrome de parkinson plus un año antes de empezar el tratamiento con el fin de verificar la eficiencia de la fisioterapia en la mitigación de síntomas mediante ejercicios de atención focalizada.

El programa de fisioterapia se ejecutó semanalmente en una sesión de 40 minutos durante 8 semanas teniendo en cuenta ejercicios de respiración, movilidad articular, entrenamiento de longitud de paso, equilibrio en bipedestación, equilibrio en sedestación, boxing y estiramientos. Adicionalmente, se realizó el análisis pre y post tratamiento teniendo en cuenta la escala de 39-item Parkinson's Disease Questionnaire (PDQ-39) y la escala Tinetti, evaluando diferentes variables como calidad de vida, marcha y equilibrio. Los resultados mostraron que los dos pacientes presentaron una leve mejoría en los parámetros estudiados, lo cual es un indicio positivo debido a la rápida degeneración de este síndrome.

### **Estudio comparativo de parámetros biomecánicos del tenis de mesa según el incremento de la edad.**

El estudio realizado en [5] pretende analizar los parámetros biomecánicos de una técnica específica del tenis de mesa

llamada top spin de forehand desde el punto de vista de 3 deportistas en las categorías de iniciación, formación y alto rendimiento. Para dar inicio se seleccionaron 35 deportistas que se encuentran en estas tres categorías, luego de esto se realizó el análisis biomecánico mediante el software KINOVEA 8.27, donde tomaron las mediciones que se observan en la figura 1.

No.	Parámetros
1	Ángulo del codo
2	Ángulo de la rodilla
3	Ángulo del tobillo
4	Distancia impacto a la pelota

Fig 1. Parámetros biomecánicos evaluados.[5]

Con estos parámetros es posible evaluar la estabilidad de cada jugador cuando realiza la técnica, teniendo en cuenta varias fases como la posición inicial, flexión y extensión de las extremidades, golpe de la pelota y terminación del golpe. De este estudio se obtuvo que las deportistas de alto rendimiento demostraron resultados más favorables a la hora de realizar cada golpe, teniendo en cuenta el ángulo de la rodilla donde estas jugadoras realizan una menor flexión con el fin de que al llegar a la fase final del golpe se realiza un recorrido más amplio luego del impacto con la pelota. El otro parámetro donde se evidenció una gran diferencia es en la distancia de la raqueta con respecto a la línea final de la mesa, donde las jugadoras en la categoría de iniciación tenían mayor distancia causando que la velocidad de impacto con la pelota sea menor en comparación con la deportista de alto rendimiento, la cual tenía una distancia menor generando una mayor velocidad de impacto cumpliendo el objetivo de producir una ventaja en el oponente ya que se acorta el tiempo de vuelo hacia el otro lado de la mesa de juego.

### Seguimiento de movimiento basado en marcadores usando Microsoft Kinect®

Con el fin de transmitir movimientos tradicionales del ser humano a los robots, se emplean sistemas de captura de movimiento tridimensionales de alta precisión, alta velocidad y resolución generando que el costo de estos estudios sea muy elevado; es por esto por lo que en [6] se presenta un método de bajo costo que permite la medición del ángulo de la articulación del tobillo mediante un Kinect de Microsoft®.

Inicialmente, se usó un Kinect V2 para grabar el movimiento empleando la cámara de infrarrojo, detectando y guardando los datos obtenidos para posteriormente determinar la profundidad de cada punto. Cada cuadro de infrarrojos se transformó en una imagen binaria para así detectar los marcadores. Luego de tener la ubicación de los marcadores en dos dimensiones, se empleó una cámara estenopeica sin distorsiones para obtener la posición en tres dimensiones. Se calibró la cámara del Kinect® con un tablero de ajedrez, diferenciando claramente entre los colores blanco y negro (imagen binaria). Luego de esto, se

realizó la captura del movimiento del tobillo empleando el Kinect® y un sistema comercial (Optitrack®) para así comparar los resultados obtenidos en ambas situaciones, se emplearon 3 marcadores en el robot, distribuidos en la rodilla, el tobillo y el pie como se observa en la figura 2 y se obtuvo una curva sinusoidal de la respuesta ante el movimiento de flexión y extensión de tobillo como se muestra en la figura 3 en la cual se puede observar que el Kinect® sigue la forma característica pero presenta irregularidades debido a diferentes factores externos como el rango del movimiento que este sensor puede detectar.

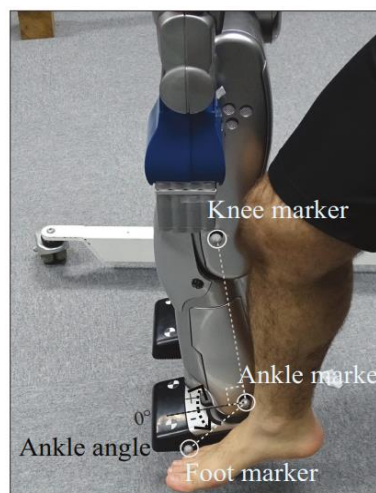


Fig 2. Ubicación de los marcadores en el robot. [6]

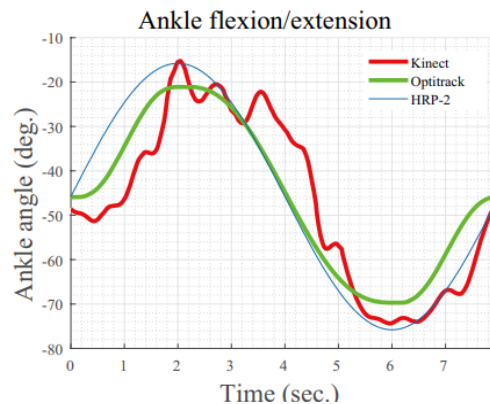


Fig 3. Curva de respuesta del movimiento de flexión y extensión. [6]

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

Con el fin de comparar la fuerza ejercida por una persona sana y una persona con dicha neuropatía durante el proceso de marcha se tuvieron en cuenta las bases de datos de [7], en donde se realizan estudios en 93 pacientes con la enfermedad de Parkinson (EP) y 73 personas sanas (PS) las cuales servirán de control para poder realizar la comparación en los resultados

obtenidos. En ambos grupos la edad media de los participantes es de 66,3 años.

Se realiza la obtención de valores de la fuerza de reacción vertical del suelo durante el apoyo del pie derecho y pie izquierdo simultáneamente mediante 16 sensores de presión ubicados 8 debajo de cada pie (como se observa en la figura 4), a una frecuencia de muestreo de 100 Hz durante 30 segundos. Se realizó la obtención en tres etapas: en la primera etapa se empleó la doble tarea la cual consistió en que los sujetos debían caminar mientras escuchaban un audio texto del cual posteriormente se realizaron preguntas (esto con el fin de que la persona estuviera completamente concentrada en el audio mientras caminaba y así ejecutar dos actividades al tiempo) [8], en la segunda etapa se realizó la caminata junto con estimulación auditiva rítmica [9] y en la tercera etapa se empleó una cinta caminadora a diferentes velocidades.[10]

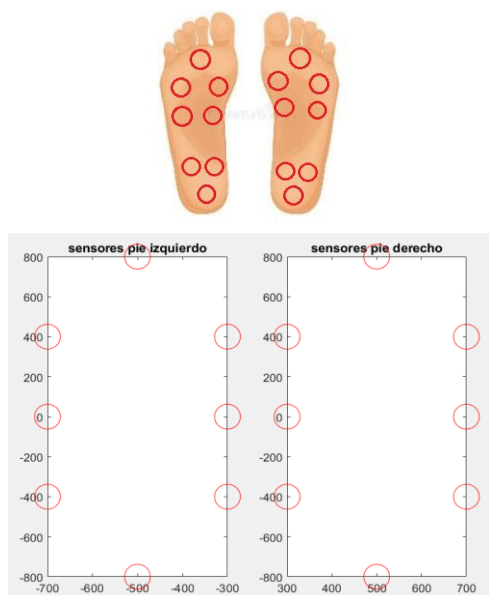


Fig 4. Ubicación de los 16 sensores en el pie izquierdo y pie derecho respectivamente.

Luego de analizar y comparar los datos obtenidos del proceso de marcha de una persona sana y una persona con Parkinson se procede a realizar la captura de los movimientos del tenis de mesa que son: derecha, revés y topspin de derecha. Esto se realiza con un jugador de tenis de mesa el cual cuenta con perfectas condiciones de salud; para la adquisición de los datos se usó el laboratorio de movimiento y captura de la Universidad Militar Nueva Granada, en el cual se emplearon 40 marcadores distribuidos en el cuerpo, como se muestra en la figura 5.

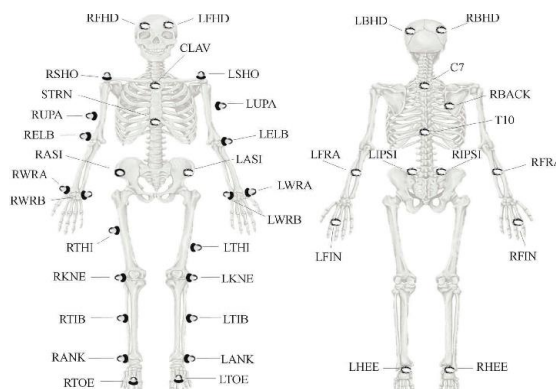


Fig 5. Ubicación de los 40 marcadores para la captura de movimientos del tenis de mesa [6].

Para la captura de estos movimientos se empleó el sistema Optitrack Motive® el cual detecta los marcadores reflectantes mediante las 18 cámaras infrarrojas localizadas en el espacio del laboratorio, las cuales envían a la interfaz gráfica la posición y la velocidad con la que se mueve cada marcador, permitiendo almacenar los valores en una base de datos que posteriormente será exportada en formato de xlsx de Excel, para procesarlos en el software de Matlab® con el objeto de obtener las gráficas correspondientes a los movimientos realizados. Para este proceso se seleccionaron los 6 marcadores más importantes para la visualización de los movimientos que son: hombro, codo, muñeca, cadera, rodilla y tobillo, con el objetivo de realizar el estudio de cómo el movimiento de la rutina deportiva permite la mitigación de la enfermedad.

Adicionalmente, se usó otro sistema de captura de movimiento el cual está basado en el sensor Kinect V1 de Microsoft® mediante el cual se detecta el esqueleto del cuerpo humano, obteniendo las coordenadas de los 20 puntos o articulaciones como se puede observar en la figura 6. Los datos obtenidos se exportaron a Matlab® para así generar las gráficas de la posición en función del tiempo de los 6 puntos mencionados anteriormente (hombro, codo, muñeca, cadera, rodilla y tobillo) en relación con el movimiento de ataque y realizar su posterior análisis.

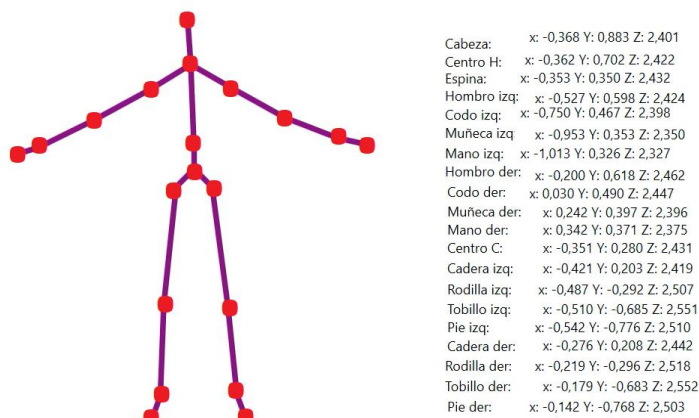


Fig 6. Detección del esqueleto mediante el sensor Kinect V1 de Microsoft®

#### IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Luego de obtener los valores medidos en cada sensor se realiza el promedio en cada intervalo de tiempo para así tener la fuerza total resultante ejercida por el pie derecho y el pie izquierdo, obteniendo los resultados presentados en las figuras 7 y 8. A su vez, se hizo uso de la plataforma de fuerza con el objetivo de observar en tiempo real cómo se comportan los datos de fuerza en una persona sana obteniendo que estos actúan de la misma manera que las gráficas de la base de datos.

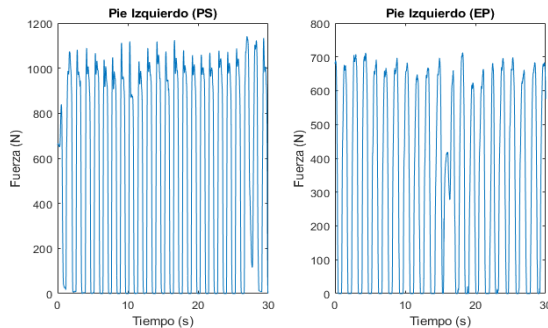


Fig 7. Fuerza resultante del pie izquierdo durante la doble tarea en una persona sana y en una persona con Parkinson.

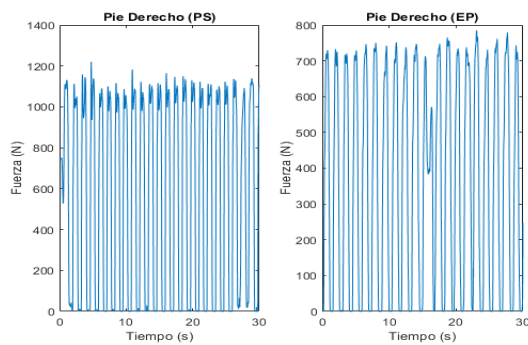


Fig 8. Fuerza resultante del pie derecho durante la doble tarea en una persona sana y en una persona con Parkinson.

Como se observa en las figuras 7 y 8, se puede apreciar que la fuerza en un paciente con EP es menor que en una persona sana, eso es debido a que al momento de realizar la doble tarea de caminar y escuchar el audio atentamente los EP se enfocaron más en la segunda tarea generando una disminución en la capacidad para mantener el ritmo y la firmeza de cada paso, mientras que los PS podían ejecutar ambas tareas sin ningún problema y sin verse afectada la fuerza con la que se realizaba el movimiento de marcha. Es por esto que para los pacientes con EP es desafiante realizar dos tareas simultáneamente sobre todo cuando se encuentran caminando normalmente dado que esto se asocia con el riesgo de accidente que pueden sufrir, debido a que una de las características de los EP es el alto riesgo de caídas causado por los síntomas de la enfermedad (postura alterada o congelamiento de la marcha), pues al enfocarse en este caso en la tarea cognitiva que se estaba realizando los pacientes no se concentran en su control postural durante la

marcha obteniendo así una disminución del ritmo, firmeza, fuerza y posiblemente una caída. [11]

En las figuras 9 y 10, se puede observar que los EP presentan menor fuerza en comparación con los PS, en este caso no es mucha la diferencia ya que según el estudio en [12] asegura que la estimulación auditiva rítmica ayuda a mejorar la longitud de la zancada, el balanceo y la velocidad en la marcha en pacientes EP mientras que en las personas sanas la estimulación auditiva rítmica no influyó en los resultados durante el desplazamiento. Esta estimulación fue realizada gracias a un metrónomo, el cual pautó el tiempo en el que se debían realizar cada uno de los pasos incrementando la concentración y la repetición de los movimientos generando que el paciente consiga una mayor estabilidad durante la marcha; es por lo que se destaca que el seguimiento de una rutina para los pacientes con EP ayuda a mejorar ciertos parámetros que le permiten ejecutar con mayor facilidad cada uno de sus movimientos.

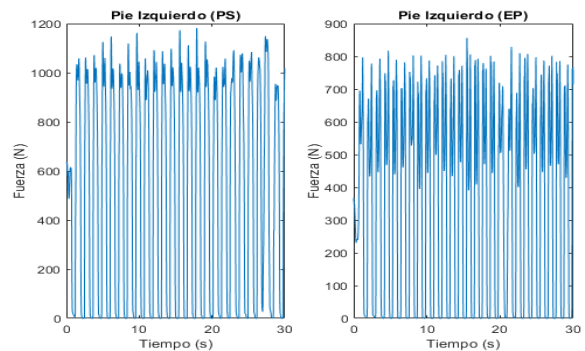


Fig 9. Fuerza resultante del pie izquierdo durante la estimulación auditiva rítmica en una persona sana y una persona con Parkinson.

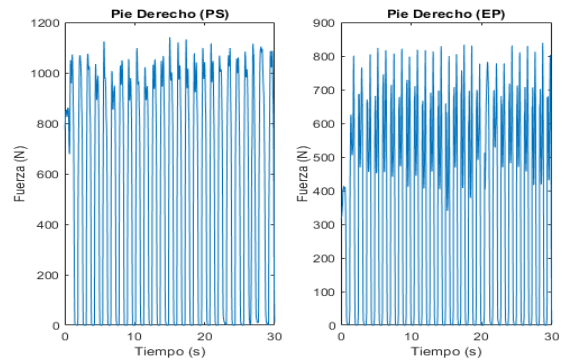


Fig 10. Fuerza resultante del pie derecho durante la estimulación auditiva rítmica en una persona sana y una persona con Parkinson.

Por otro lado, en las figuras 11 y 12 se observa que la fuerza en EP es mayor que en PS, esto es debido a que al tener una ayuda externa para realizar la marcha (en este caso la cinta caminadora) causa que los pacientes puedan tener una mayor estabilidad en el movimiento, a diferencia de los casos anteriores el hecho de que en la cinta se defina una velocidad hace necesario que el paciente con EP generen la suficiente fuerza muscular para poder mantener el ritmo y de esta manera



se logra el objetivo de una mayor estabilidad y menor fluctuación a la hora de realizar la marcha en comparación con los pacientes sanos los cuales pueden mantener fácilmente la velocidad establecida por la cinta sin ningún tipo de alteración.

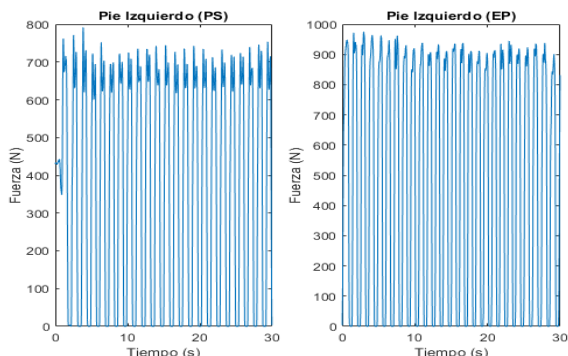


Fig 11. Fuerza resultante del pie izquierdo en la cinta caminadora en una persona sana y una persona con Parkinson.

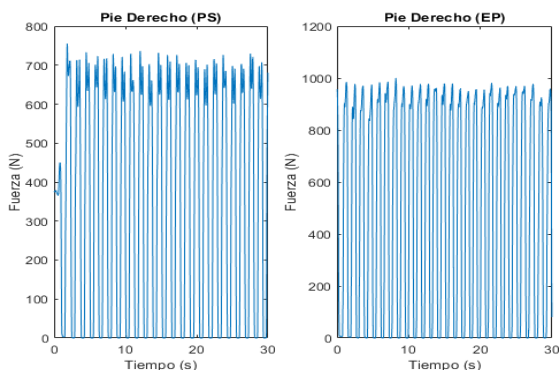


Fig 12. Fuerza resultante del pie izquierdo en la cinta caminadora en una persona sana y una persona con Parkinson.

Después, se obtienen los resultados en términos de posición para el jugador de alto rendimiento mediante el software Optitrack Motive®, de las principales articulaciones y para los tres movimientos mencionados anteriormente (Figuras 13 y 14).

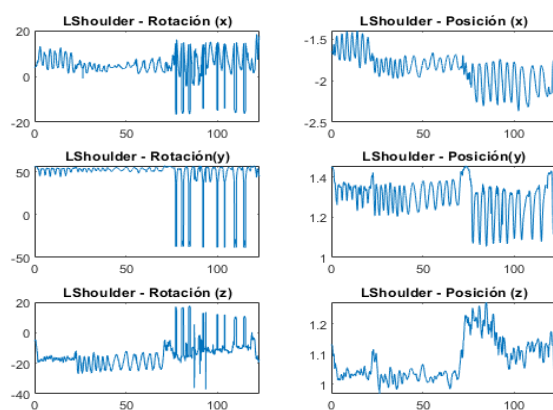


Fig 13. Posición y rotación en función del tiempo del hombro izquierdo.

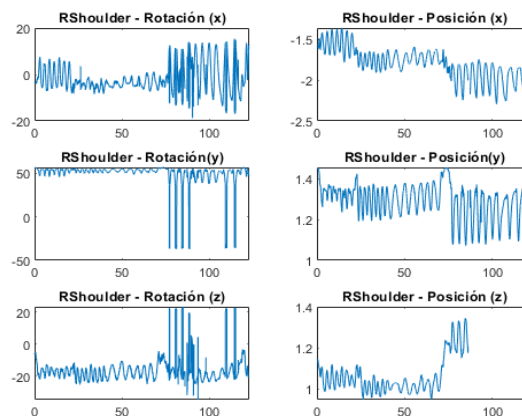


Fig 14. Posición y rotación en función del tiempo del hombro derecho.

Inicialmente en las figuras 13 y 14, se muestra la rotación en términos de grados y la posición a lo largo de la ejecución del movimiento del hombro izquierdo y derecho respectivamente; se puede observar, que para estas dos variables no se presenta una gran variación con respecto a la posición, manteniéndose en un rango estable. Es importante destacar que el hombro es una articulación que tiene una gran amplitud a la hora de realizar los golpes del tenis de mesa, es por esto que se debe procurar no someter esta articulación a posiciones o rotaciones excesivas ya que puede llegar a causar lesiones en el jugador durante la terapia de rehabilitación.

En la figura 15, se tiene la posición de cada uno de los codos, por un lado se tiene el codo izquierdo en donde se observa una menor variación en su posición a comparación del codo derecho en donde se observa diferentes desplazamientos, esto es debido a que el jugador es diestro, por lo tanto es la articulación que más se encuentra en movimiento. El movimiento del codo ayuda a que la fuerza realizada se distribuya de mejor manera a lo largo del brazo, debido a que usualmente los jugadores que no conocen acerca de las técnicas de golpe del juego suelen tensionar la muñeca y al realizar los golpes repetitivamente se genera una sobrecarga en la articulación y sus músculos causando a largo plazo algún tipo de dolencia.

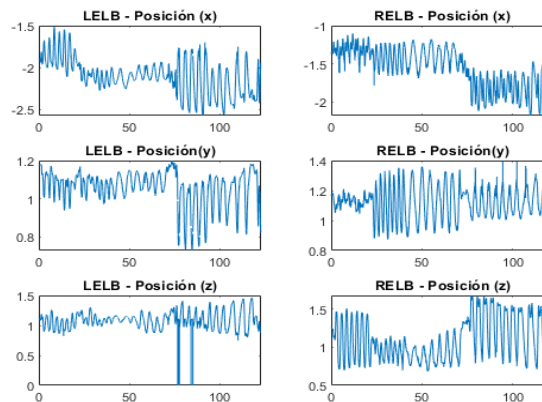


Fig 15. Posición en función del tiempo de los codos.

Para las posiciones de la muñeca (figura 16), de igual manera presentan mayor variación en el lado derecho, esto debido a que es la mano dominante con la cual se ejecuta el golpe y al efecto que el jugador le da a la pelota a la hora de realizar el movimiento de defensa.

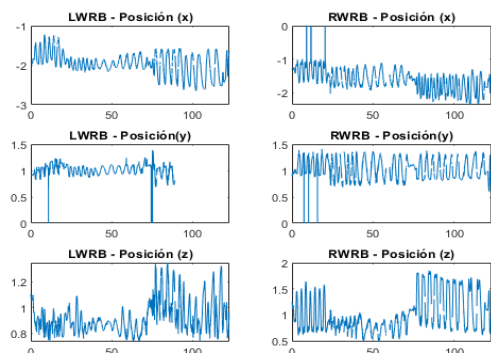


Fig 16. Posición y rotación en función del tiempo de las muñecas

Por otro lado, en la figura 17 se tiene la rotación y posición de la cadera, una de las variables a resaltar es la rotación en este punto ya que como se observa es la que más variaciones tiene a lo largo del juego. Estas variaciones se presentan debido a la necesidad que tiene el jugador de recepcionar la pelota sin necesidad de desplazarse a lo ancho de la mesa, dependiendo únicamente de la rotación, flexión y extensión de sus extremidades. Por otro lado, en la posición no se tienen mayores variaciones debido a que la cadera ayuda al balance y al equilibrio durante el tiempo de juego ya que allí es donde se encuentra su centro de gravedad.

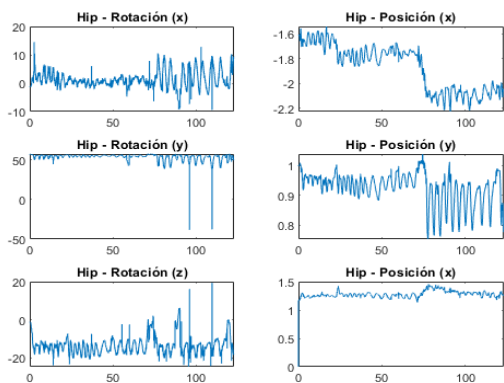


Fig 17. Posición y rotación en función del tiempo de la cadera.

Para la posición de las rodillas del jugador (figura 18) se muestra principalmente la variación de posición en el eje Y, debido a que es donde se registra la flexión realizada para la correcta ejecución de los golpes. Se puede observar que los valores medidos no son muy altos por lo tanto se dice que estas articulaciones se encontraban demasiado flexionadas; esto es importante porque a la hora de realizar la fase final del golpe se realiza un recorrido más amplio para obtener un mejor ángulo de impacto con la pelota.

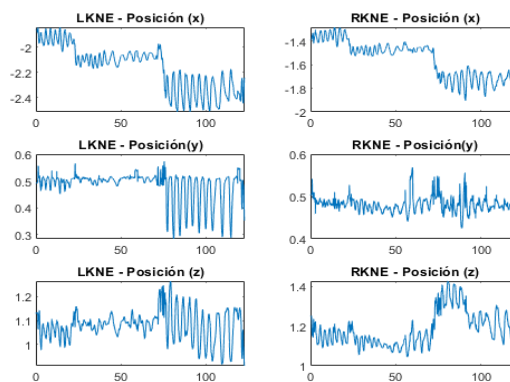


Fig 18. Posición en función del tiempo de las rodillas.

Por último, se tiene la posición de los tobillos (figura 19), en este caso la variación en cada uno de ellos es corta, esto se debe a que los desplazamientos que se realizan en el tenis de mesa son reducidos y rápidos, el jugador se mantiene la mayor parte del tiempo en un solo punto recepcionando la pelota a lo largo del juego

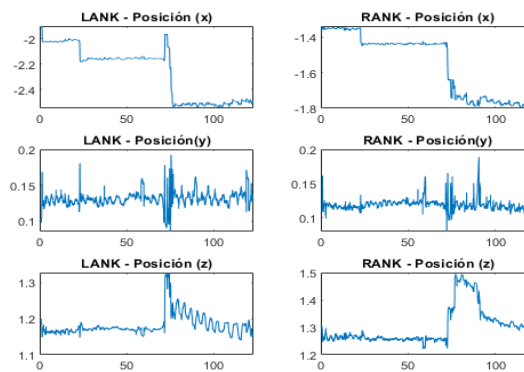


Fig 19. Posición en función del tiempo de los tobillos.

Luego de esto, se obtiene la posición en función del tiempo en X, Y y Z de las 6 articulaciones más importantes (hombro, codo, muñeca, cadera, rodilla y tobillo), mediante el sensor Kinect V1 de Microsoft® para detectar el movimiento como se muestra en las figuras 20-25:

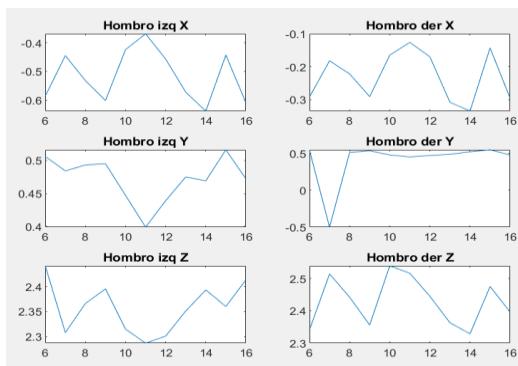


Fig 20. Posición en función del tiempo del hombro.



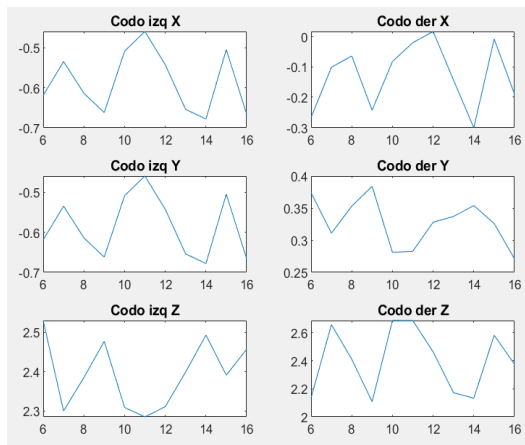


Fig 21. Posición en función del tiempo del codo.

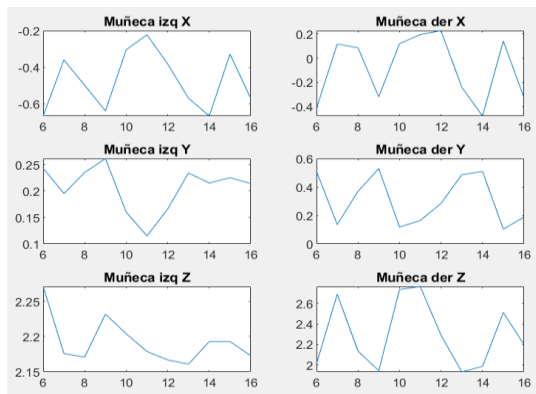


Fig 22. Posición en función del tiempo de la muñeca

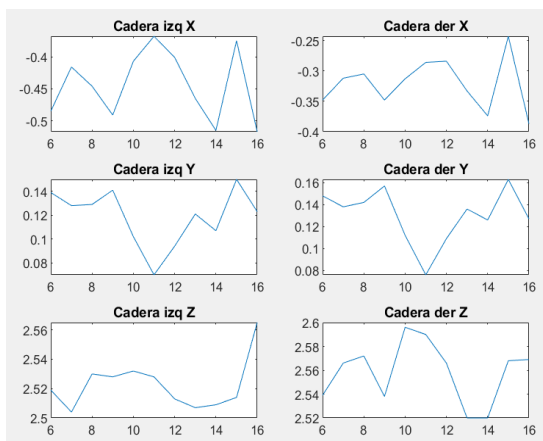


Fig 23. Posición en función del tiempo de la cadera

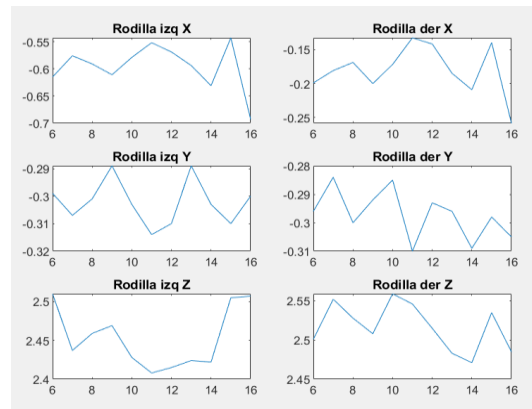


Fig 24. Posición en función del tiempo de la rodilla

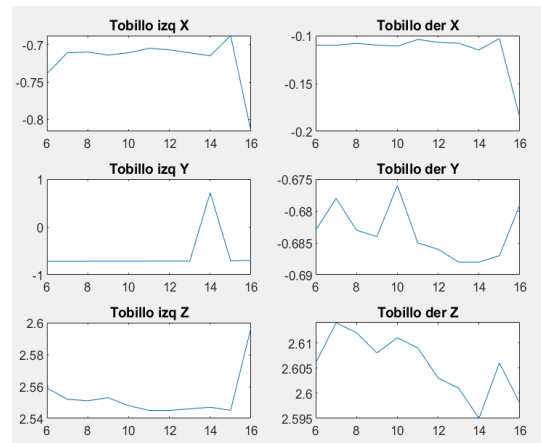


Fig 25. Posición en función del tiempo del tobillo.

Como se observa en las imágenes 20-25, en el movimiento de ataque las articulaciones que presentan mayor actividad son el codo y la muñeca derecha ya que el jugador sujeta la raqueta y ejecuta el golpe con dicho brazo mientras que el brazo izquierdo se mantiene más firme. En las extremidades inferiores, específicamente en la articulación de tobillo se puede observar que es la parte del cuerpo que presenta menos variación en la posición ya que el jugador se mantiene en un solo punto ejecutando el movimiento mencionado anteriormente. Es de gran importancia recalcar que durante este deporte no se presentan grandes desplazamientos a lo largo del terreno de juego, lo que supone una mayor facilidad para una persona con Parkinson ejecutar de manera correcta los movimientos de este deporte girando, estirando y flexionando los miembros superiores e inferiores.

Un factor importante en el momento de la recolección de los datos usando el sensor Kinect V1 de Microsoft® es que el software no presentó una buena resolución en el tiempo, lo que genera que se tengan solo los valores en cada segundo provocando una gran pérdida de los datos que se encuentran en el medio y por esto una menor confiabilidad a la hora de realizar el estudio. Debido a esto, es importante usarlo en análisis que no requieran de muestras en tiempos pequeños con el objeto de

realizar una comparación entre los datos obtenidos mediante el software Optitrack® y el sensor Kinect®.

## V. CONCLUSIONES

Debido a la implementación de movimientos sistemáticos y repetitivos que permitan fortalecer los músculos disminuyendo su rigidez y aumentando la coordinación, además de mejorar el equilibrio, la flexibilidad y el desplazamiento durante la práctica del tenis de mesa, se establece este deporte óptimo para la realización del protocolo de rehabilitación en pacientes con la enfermedad de Parkinson en estado leve y moderado de manera no invasiva, logrando así una gran disminución de los temblores presentados y aumentando la capacidad de reacción ante diferentes estímulos disminuyendo las afecciones motoras que se presentaban al inicio.

Es importante tener en cuenta los síntomas presentes en pacientes con dicha neuropatología como la rigidez muscular y la alteración postural, se debe considerar que a la hora de ejecutar los movimientos del tenis de mesa se debe iniciar de manera lenta y controlada, además de asegurar que el paciente está poniendo toda su atención en una sola tarea a la vez con el fin de evitar caídas o lesiones durante la terapia física. Gracias al estudio biomecánico se logra una mejor comprensión de diferentes parámetros a la hora de ejecutar los movimientos permitiendo analizar si el paciente está ejecutando los golpes de la manera adecuada y de esta forma lograr que el plan de rehabilitación sea más efectivo.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Militar Nueva Granada y al programa de Ingeniería Biomédica por brindar el acceso a los laboratorios de investigación para el desarrollo de las pruebas. Así mismo, al deportista de alto rendimiento de tenis de mesa Julián Andrés Cruz Aponte por participar en la adquisición de los datos necesarios para el desarrollo de la investigación.

## REFERENCIAS

[1] "Enfermedad de Parkinson", Asociación de Parkinson de Madrid, 2020.

[2] G. F. J. Seco Calvo, «Eficacia de un programa intensivo y continuado de fisioterapia para la mejoría clínica en pacientes con enfermedad de Parkinson.» de Fisioterapia, León, Elsevier España, 2015, pp. 208-216.

[3] F. Carrillo García, "Therapeutic protocol for Parkinson 's disease," Med., vol. 12, no. 73, pp. 4319–4321, 2019, doi: 10.1016/j.med.2019.03.008.

[4] P. Campo-Prieto, G. Rodríguez-Fuentes, and J. M. Cancela Carral, "Application of a focused-attention exercise program in two patients affected by Parkinson-plus syndrome," Fisioterapia, vol. 42, no. 1, pp. 51–55, 2020, doi: 10.1016/j.ft.2019.09.002.

[5] B. Martínez-Salas, C. Ávila-Mediavilla, G. Vargas-Cuenca and L. Loaiza-Dávila, «Estudio comparativo de parámetros biomecánicos del tenis de mesa según el incremento de la edad.» Polo del Conocimiento, vol. 5, nº 11, pp. 116-129, 2020.

[6] A. Bilesan et al., "Marker-based motion tracking using Microsoft Kinect," IFAC-PapersOnLine, vol. 51, no. 22, pp. 399–404, 2018, doi: 10.1016/j.ifacol.2018.11.575.

[7] "PhysioBank Databases", Archive.physionet.org. [Online]. Available: <https://archive.physionet.org/physiobank/database/>.

[8] G. Yogev, N. Giladi, C. Peretz, S. Springer, E. S. Simon, and J. M. Hausdorff, "Dual tasking, gait rhythmicity, and Parkinson's disease: Which aspects of gait are attention demanding?," Eur. J. Neurosci., vol. 22, no. 5, pp. 1248–1256, 2005, doi: 10.1111/j.1460-9568.2005.04298.x.

[9] J. M. Hausdorff, J. Lowenthal, T. Herman, L. Gruendlinger, C. Peretz, and d N. Giladi, "Rhythmic auditory stimulation modulates gait variability in Parkinson's disease," Eur. J. Neurosci., vol. 26, pp. 2369–2375, 2007, doi: 10.1111/j.1460-9568.2007.05810.x.

[10] J. M. Hausdorff, "Gait variability : methods , modeling and meaning Example of Increased Stride Time Variability in Elderly Fallers Quantification of Stride-to-Stride Fluctuations," vol. 9, pp. 1–9, 2005, doi: 10.1186/1743-Received.

[11] I. Staff, "Deliverable 2 . 2 ' Sensors Networks Calibration ,'" 2018.

[12] S. Frenkel-Toledo, N. Giladi, C. Peretz, T. Herman, L. Gruendlinger, and J. M. Hausdorff, "Treadmill walking as an external pacemaker to improve gait rhythm and stability in Parkinson's disease," Mov. Disord., vol. 20, no. 9, pp. 1109–1114, 2005, doi: 10.1002/mds.20507.

[13] G. Vergara-Diaz et al., "Tai Chi for Reducing Dual-task Gait Variability, a Potential Mediator of Fall Risk in Parkinson's Disease: A Pilot Randomized Controlled Trial", Global Advances in Health and Medicine, vol. 7, pp. 1-12, 2018. Available: 10.1177/2164956118775385.

[14] M. Thaut, R. Rice, T. Braun Janzen, C. Hurt-Thaut and G. McIntosh, "Rhythmic auditory stimulation for reduction of falls in Parkinson's disease: a randomized controlled study", Clinical Rehabilitation, vol. 33, no. 1, pp. 34-43, 2018. Available: 10.1177/0269215518788615.

[15] J. Skinner, "Influence of Strength on Motor Control and Gait Variability in Persons with Parkinson's Disease", University of Florida Digital Collections, 2016. [Online]. Available: <https://ufdc.ufl.edu/UFE0049558/00001>.