

# **CARACTERIZACIÓN CINEMÁTICA Y DE LA FUERZA DURANTE EL GESTO DEPORTIVO PATADA BAJA EN LA DISCIPLINA ARTES MARCIALES.**

**JULIAN ALBERTO NAVARRO GARCIA**

**LIZETH CRISTINA OSPINA RUIZ**

**Asesor**

**María Teresa De Ossa Jiménez**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO**

**Facultad de Ciencias Exactas y Aplicadas**

**Ingeniería Biomédica**

**Octubre 09 de 2015**

## RESUMEN

En el ámbito local, la aplicación del desarrollo biomecánico en los deportes, no ha sido un factor que se haya tomado en cuenta. Los escasos conocimientos que se adquieren sobre las disciplinas deportivas no se cuantifican, solo se realizan cualitativamente por expertos o entrenadores durante la secciones de entrenamientos. La necesidad de caracterizar y cuantificar los gestos deportivos para el apoyo a las distintas disciplinas, se hace evidente conforme avanza la práctica de las mismas. Una de estas disciplinas comprende el grupo de las artes marciales, en las cuales, uno de los principales desafíos de los deportistas, es lograr un efectivo posicionamiento corporal, tanto de las extremidades superiores, tronco y cabeza, como de las extremidades inferiores, que actúan en conjunto para permitir un correcto desplazamiento del centro de gravedad y mantener el equilibrio corporal en cualquier ejecución de movimiento que se desee realizar.

La posible aparición de fuerzas externas que obstaculicen la realización efectiva de un movimiento es un riesgo latente en un combate de artes marciales, ya sea por bloqueo o por la recepción de impactos, lo cual provoca la desestabilización corporal, que, teniendo en cuenta la función de las extremidades inferiores en el combate como estabilizadoras y equilibrantes, son las principales afectadas en dichos casos con la posible aparición de lesiones por falso apoyo plantar.

Abarcar la caracterización de todos los movimientos que puedan ocasionar dichas lesiones es un trabajo demasiado complejo y extenso, por lo cual en este estudio, se plantea entonces la caracterización cinemática y de la fuerza durante el gesto deportivo patada baja, para el cual, los deportistas mejoraran la ejecución de los gestos técnicos deportivos, según los resultados obtenidos del estudio, además de reducir la aparición de lesiones, que comprometan el desarrollo deportivo y afecten la integridad física de un practicante.

*Palabras clave: Artes marciales, Biomecánica, Caracterización, Cinemática, Cinética, EcoWalk, Fuerza, Patada baja, Podómetro.*

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de grado nos gustaría agradecerlo a Dios por habernos permitido llegar hasta este punto y habernos dado salud para lograr nuestros objetivos, además de su infinita bondad y amor.

Al INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO por darnos la oportunidad de estudiar y ser profesionales.

A nuestra directora de tesis, María Teresa De Ossa Jiménez por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación ha logrado que nosotros podamos terminar nuestro estudio con éxito.

También nos gustaría agradecer a nuestros profesores de toda nuestra carrera profesional porque todos han aportado con un granito de arena en nuestra formación.

Y finalmente queremos agradecerles a nuestros padres, por habernos apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que nos ha permitido ser personas de bien, pero más que nada, por su amor.

Son muchas las personas que han formado parte de nuestras vidas; nuestros compañeros de clase nos encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en todos los momentos buenos y malos.

¡GRACIAS!

## ACRÓNIMOS

a: Aceleración

AM: Artes Marciales

CDG: Centro de gravedad

EIA: Escuela de Ingeniería de Antioquia

F: Fuerza

FmPP: Fuerza máxima de presión plantar

INDER: Instituto de Deportes y Recreación de Medellín

ITM: Instituto Tecnológico Metropolitano

Kgf: Kilogramo fuerza

KPa: Kilo pascales

MA: *Martial Arts* – Artes Marciales

Ms: Milisegundos

N: Newton

Pm: Presión media

s: Segundos

TCP: Tiempo de captación de la presión

t: Tiempo

ti: Tiempo inicial

tf: Tiempo final

V: Velocidad

Vi: Velocidad inicial

Vf: Velocidad final

ZmPP: Zona de mayor presión plantar

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN .....	2
AGRADECIMIENTOS .....	3
ACRÓNIMOS .....	4
LISTA DE TABLAS .....	7
LISTA DE FIGURAS .....	8
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	10
2. JUSTIFICACIÓN.....	12
3 OBJETIVOS .....	14
3.1 OBJETIVO GENERAL .....	14
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
4. MARCO TEÓRICO .....	15
4.1 GENERALIDADES .....	15
4.2 CARACTERIZACIÓN PATADA BAJA .....	15
5. ESTADO DEL ARTE .....	19
6. METODOLOGÍA.....	23
6.1 PROCEDIMIENTOS CON LOS DEPORTISTAS.....	23
6.2 EQUIPOS Y SOFTWARES .....	25
7. RESULTADOS.....	32
8. CONCLUSIONES .....	53
9. ANEXOS .....	58
REFERENCIAS .....	68

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Medidas antropométricas de cada uno de los deportistas de estudio.....	24
Tabla 2. Distancias escogidas por cada uno de los deportistas para golpear el objetivo. ....	33
Tabla 3. Porcentaje de la estatura total (distancia ideal de localización del objetivo).....	34
Tabla 4. Presión media (KPa).....	35
Tabla 5. Tiempo de captación de la presión (ms).....	35
Tabla 6. Fuerza máxima de presión plantar (Kgf y N).....	35
Tabla 7. Zonas de mayor presión plantar por deportista.....	35
Tabla 8. Presión media (KPa).....	37
Tabla 9. Tiempo de captación de la presión (ms).....	38
Tabla 10. Fuerza máxima de presión plantar (Kgf y N).....	38
Tabla 11. Zonas de mayor presión plantar por deportista.....	38
Tabla 12. Ángulos de rotación del pie de apoyo de los practicantes de artes marciales.....	40
Tabla 13. Distancias totales recorridas por la pierna que efectúa la patada.....	42
Tabla 14. Tiempo de ejecución de la patada desde el despegue hasta el impacto.....	42
Tabla 15. Velocidad de la ejecución del gesto para cada uno de los deportistas. ....	43
Tabla 16. Parámetros inerciales determinados por Dempster y Clauser. ....	43
Tabla 17. Parámetros inerciales aplicados a cada uno de los sujetos de estudio. ....	44
Tabla 18. Aceleración del gesto deportivo patada baja. ....	45
Tabla 19. Fuerza realizada por cada uno de los deportistas durante el gesto deportivo patada baja.....	45
Tabla 20. Ángulos de rotación de la articulación de la cadera.....	46

Tabla 21. Ángulo de abducción de la cadera.....48

Tabla 22. Distancia entre los calcáneos distales. ....51

## LISTA DE IMÁGENES

	Pág.
Imágen 1. Segmentos del cuerpo.....	17
Imágen 2. Segmentos del cuerpo.....	17
Imágen 3. Posicion inicial gesto deportivo patada baja.....	18
Imágen 4. Plataforma de presión EcoWalk.....	26
Imágen 5. Cámaras de alta velocidad.....	26
Imágen 6. Ubicación de las cámaras con respecto a la plataforma.....	27
Imágen 7. Set de marcadores ara deportista de artes marciales.....	28
Imágen 8.Puntos de máxima y mínima presión plantar.....	31
Imágen 9.Pie supinador.....	32
Imágen 10.Zonas de mayor presión plantar.....	36
Imágen 11.Gráfico de fuerzas que ejerce el pie de rotación sobre la plataforma. ....	36
Imágen 12.Anatomia del pie. ....	37
Imágen 13.Zona de mayor presión plantar.....	39
Imágen 14.Gráfico de fuerza que ejerce el pie de que ejecuta la patada sobre la plataforma.....	39
Imágen 15.Altura máxima alcanzada por el pie en el gesto deportivo.....	40
Imágen 16.Posicion inicial antes del despegue.....	41
Imágen 17.Distance total hasta el momento del impacto con el objetivo. ....	41
Imágen 18.Ángulos de rotación del tobillo.....	46

Imágen 19. Ángulo de rotación de la cadera.....47

Imágen 20. Ángulos de abducción y aducción de la cadera.....48

Imágen 21. Ángulo de abducción de la cadera.....49

Imágen 22. Análisis de la posición del impacto.....49

Imágen 23. Análisis de la posición de impacto.....49

Imágen 24. Análisis de la posición de impacto.....50

Imágen 25. Trayectoria articulación del tobillo.....51

Imágen 26. Trayectoria articulación del tobillo.....52

Imágen 27. Trayectoria articulación del tobillo.....52

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Medellín la investigación en biomecánica deportiva se encuentra poco desarrollada. Los escasos conocimientos que se adquieren sobre las disciplinas deportivas no se cuantifican, solo se realizan cualitativamente por expertos o entrenadores durante la secciones de entrenamiento. Medellín cuenta con aproximadamente cuatro laboratorios de análisis de marcha, tres de ellos ubicados dentro de instituciones universitarias (Fundación Universitaria María Cano, Escuela de Ingeniería de Antioquia y El Instituto Tecnológico Metropolitano), de las cuales, el ITM y la EIA abordan la biomecánica desde la ingeniería biomédica, promoviendo así, el desarrollo de investigaciones en dicha área.

El laboratorio perteneciente al Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM), se encuentra en la sede de fraternidad, en el cual, los proyectos de investigación apenas están siendo planteados para la utilización de estos recursos.

Dentro de la institución se cuenta con varios grupos deportivos que le han brindado al ITM varios reconocimientos a nivel departamental y nacional; dentro de estos grupos, uno de los más destacados es el de Taekwondo con 8 medallistas (3 de oro, 3 de plata y 2 de bronce). Debido a la fuerte incidencia del deporte Taekwondo como arte marcial en la institución, se hace evidente la necesidad del apoyo a los practicantes del mismo en cuanto al mejoramiento de técnicas, evitando el compromiso del desarrollo deportivo. Permitiendo así la mejoría en la ejecución de los movimientos, impidiendo la aparición de lesiones comunes en las extremidades implicadas mediante la cuantificación cinética y de fuerza. Esta cuantificación describe los movimientos del cuerpo en conjunto y los movimientos relativos de las partes del cuerpo durante las diferentes fases del gesto. En este análisis se incluyen los diferentes ángulos que se van formando a lo largo del movimiento entre los segmentos del pie; esto nos proporciona datos muy importantes a la hora de sugerir la modificación de la técnica del gesto deportivo, actividad que dentro de la institución no se ha llevado a cabo hasta la fecha.

Con base en lo anterior, se propone realizar el estudio de la caracterización cinemática y de fuerza en la patada baja en la disciplina de artes marciales; que tendrá como población

objetivo, los estudiantes del Instituto Tecnológico Metropolitano practicantes de la disciplina.

## 2. JUSTIFICACIÓN

Debido a la creciente influencia de la mala praxis e implementación de prácticas y técnicas no supervisadas, o mal supervisadas en artes marciales, además el aumento de los entrenamientos intensos y competencias, las lesiones han estado aumentando exponencialmente a medida que aumenta el auge del deporte, encontrado que la tasa de lesión deportiva en Medellín va de 1.7 a 53 lesiones por cada 1000 horas de práctica, entre 0.8 y 90.9 por cada 1000 horas de entrenamiento, entre 3.1 y 54.8 por cada 1000 horas de competición, y de 6.1 a 10.9 por 100 juegos. [1] Se ha calculado que la tasa de lesiones deportivas en la población general es de 15,4 por 1.000 personas además que se encontró que la frecuencia promedio de lesiones en los atletas era de 5,2%. Un estimado de 30% a 50% de las lesiones deportivas son causadas por el exceso de entrenamiento, donde los tejidos blandos se ven sobre esforzados. [2] Los esguinces son las lesiones más comunes en las articulaciones y los de la rodilla en particular representan el 25 al 40% de todas ellas. [3]

En cuanto a las lesiones correspondientes al pie y al tobillo, estudios hechos por Garrick y Requa, aplicados en 16.754 deportistas, demostraron que el 25,2% de los casos fueron lesiones del pie y el tobillo. [2]

El instituto tecnológico metropolitano (ITM) está en capacidad de realizar investigaciones sobre la caracterización cinemática y la caracterización de la fuerza en gestos deportivos, ya que, cuenta con el equipo y el espacio especializado para dicha actividad (laboratorio de biomecánica, plataformas de fuerza, y cámaras de alta velocidad respectivamente). Sin embargo, la novedad de la asignación del espacio y la reciente compra de equipos, evidencia que este tipo de análisis no se habían podido llevar a cabo por la institución universitaria previamente.

Por lo expuesto anteriormente se piensa que desarrollo del estudio “Caracterización cinemática y de la fuerza durante el gesto patada baja en la disciplina de artes marciales”, es de gran importancia, ya que sirve para hacer énfasis en la praxis y la efectiva ejecución de técnicas solidas que eviten la aparición de lesiones en general, que comprometan el desarrollo deportivo y afecten la integridad física de un individuo.

La realización de este estudio, contribuye al plan de desarrollo deportivo departamental y municipal, sentando un precedente que permitirá la ejecución de futuros proyectos en colaboración con el Instituto Tecnológico Metropolitano, ofreciendo métodos de cuantificación de los aspectos deportivos de interés.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Caracterizar el movimiento y la fuerza en el gesto deportivo “patada baja” en la disciplina de artes marciales, utilizando el laboratorio de biomecánica del Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM).

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Describir la fuerza de los deportistas durante el gesto deportivo “patada baja” y la bipedestación.
- Caracterizar cinemáticamente el gesto deportivo “patada baja” del Taekwondo.
- Proponer la mejora de la técnica en el gesto deportivo patada baja, para que los entrenadores eviten comprometer el desarrollo deportivo y no afecten la integridad física del deportista.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1 GENERALIDADES

Desde tiempos remotos, el hombre se ha interesado por el estudio de la marcha y el movimiento, que se vio limitado en la antigüedad por la carencia de herramientas que ayudaran y apoyaran estos estudios, contando solamente con la capacidad de observación natural del ser humano.

Son los griegos los que ofrecen los orígenes de las leyes de funcionamiento que rigen el ejercicio físico. [4]

Es así como la Biomecánica se ocupa del movimiento de los seres vivos, basándose en las leyes de la mecánica. Sus métodos de trabajo son la observación y medición para el análisis y cálculos necesarios en la modelación del movimiento; su objetivo es el perfeccionamiento en el sentido de la racionalidad y efectividad, dicho en otras palabras, acordes a nuestra constitución física (que no se produzcan lesiones) y ahorro de energía (mejores resultados con menor fuerza muscular).

La biomecánica es aplicable a toda actividad motora del ser humano y demás seres vivos; en ella se combinan la Física, Anatomía, Matemáticas, Estadística, Cibernética y en dependencia del campo de aplicación, Medicina, Robótica, Deportes, Cultura Física, Danza, entre muchas otras. [5]

Dentro del papel de la tecnología en la biomecánica, se encuentran las caracterizaciones cinemáticas, las cuales utilizan análisis de videogrametría con cámaras de alta velocidad y de fuerza con plataformas baropodométricas generalmente construidas con sensores piezoresistivos.

Con base en los anteriores aspectos relevantes, se empieza a hablar de análisis cinético y cinemático los cuales se diferencian claramente, entendiendo por análisis cinético, aquel que se realiza tomando en consideración las fuerzas que participan en ese movimiento y describiéndolas, como la fuerza muscular o el peso del cuerpo etc.[6] En cambio, el análisis cinemático es aquel que se concentra en describir el movimiento mediante parámetros de

espacio o tiempo como el desplazamiento, la velocidad y la aceleración, sin consideración de las fuerzas involucradas.

En algunos análisis cinemáticos deben aplicarse o utilizarse las siguientes fórmulas matemáticas para encontrar las variables

$$F = m * a$$

$$V = d/t$$

$$a = (Vf - Vi)/(tf - ti)$$

F: Fuerza

m: Masa

a: Aceleración

V: Velocidad

d: Distancia

t: Tiempo

Vf: Velocidad final

Vi: Velocidad inicial

tf: Tiempo final

ti: Tiempo inicial

Para el cálculo de los ángulos y catetos de los triángulos que describen la posición del deportista en la realización del gesto se utilizaron razones trigonométricas, teorema de Pitágoras, análisis estadísticos, entre otras.

Para el estudio del movimiento del cuerpo humano debe procederse de lo general a lo particular. Se considera el cuerpo dividido en segmentos, que se agrupan en conjuntos de segmentos según el movimiento particular a analizar. El movimiento de los puntos del cuerpo se considera como el movimiento de una partícula.

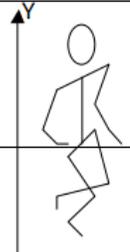
ESQUEMA DE POSTURA	SEGMENTOS DEL CUERPO	PUNTOS DEL CUERPO
	CABEZA	CENTRO DE GRAVEDAD
	TRONCO	HOMBRO
	BRAZO	CODO
	ANTEBRAZO	MUÑECA

Figura 1 – [Segmentos del cuerpo] recuperado de:  
<http://www.inder.cu/indernet/Provincias/hlg/documetos/textos/BIOMEKANICA/Biomec%C3%A1nica.PDF>

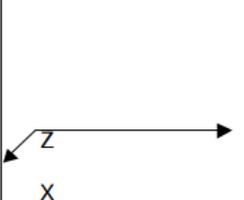
	MANO	CADERA
	MUSLO	RODILLA
	PIERNA	TALON
	PIE	PUNTA DEL PIE

Figura 2 – [Segmentos del cuerpo] recuperado de:  
<http://www.inder.cu/indernet/Provincias/hlg/documetos/textos/BIOMEKANICA/Biomec%C3%A1nica.PDF>

Existe una lógica vinculación (mediante los puntos del cuerpo) entre los diferentes segmentos formando pares y cadenas biocinemáticas que permiten la transmisión de la información de las características mecánicas (fuerza, velocidad, aceleración, etc.) de una parte del cuerpo a otra. [7]

Para el análisis cinemático, es necesario la colocación de marcadores reflectivos en las articulaciones que dividen los segmentos antes mencionados para poder ser rastreados por el sistema. Estos marcadores pueden ser discos, hemisferios o esferas que están cubiertas con retro-revestimientos reflectivos. Estos contrastan con el fondo, permitiéndole al sistema detectar sus posiciones en tiempo real.

## 4.2 DESCRIPCIÓN DE LA PATADA BAJA

Kukiwon define la patada circular como un movimiento de flexo-extensión de la rodilla y flexión de la cadera mientras, simultáneamente, se realiza una rotación del tronco y una

abducción de la articulación de la rodilla.[8] La pierna que golpea describe un arco hacia el frente desde la posición inicial (imagen 3). La rodilla se extiende y, entonces, el blanco es golpeado con el empeine cerca de la extensión total. La patada circular se inicia en un plano sagital, finalizando en el plano transversal debido a que el objetivo tiene una superficie vertical, perpendicular al suelo. Serina y Lieu, describen la patada circular como una técnica en la que el sujeto se apoya sobre su pierna de delante, rotándola para llevar la pierna de atrás hacia delante y en un plano horizontal.[9] En esa posición, la pierna realiza un movimiento de oscilación o balanceo buscando el objetivo en ese plano. En ese momento, el objetivo es golpeado con el pie, con la pierna que golpea cerca de su extensión total.[10]



*Figura 3 – [Posicion inicial]*

### **Secuencia de movimiento**

La habilidad puede ser dividida en cuatro partes: la fase preparatoria, el ascenso, el descenso y la fase final. Exactamente al igual que en otras habilidades deportivas, estas fases no están estrictamente separadas o incluso pueden no apreciarse, sino que son sucesos continuos que requieren una suave transición. [11]

## 5. ESTADO DEL ARTE

El desarrollo de este proyecto está enmarcado dentro del área de la biomecánica, la cual es definida por el DRAE como la ciencia que estudia la aplicación de las leyes de la mecánica a las estructuras y los órganos de los seres vivos. [12] Los estudios realizados en el área de la biomecánica aplicada al deporte incluyen análisis cinéticos y cinemáticos. La cinética se encarga del estudio de la producción del movimiento, en el cuerpo, según las fuerzas que actúan sobre él; mientras que la cinemática es la parte de la física que se encarga de estudiar el movimiento prescindiendo de las fuerzas que lo producen. [12]

Durante los últimos años, la cantidad de investigaciones realizadas en el área de la biomecánica para las artes marciales ha aumentado considerablemente. La mayoría de estas investigaciones se centran en la comparación entre las diferentes patadas que enseña esta disciplina. [13], [14], [15] Entre sus investigaciones más destacadas, se encuentran:

En 1985 Ahn investigó las variables cinéticas (segmentos mecánicamente acoplados en los cuales las fuerzas que emergen de un segmento son transferidas a otros segmentos) y cinemáticas (Segmentos mecánicamente acoplados en los cuales el movimiento de un segmento puede resultar en el movimiento de otros segmentos) de la patada frontal en látigo y de la patada frontal penetrante, así como los momentos musculares de fuerza mientras se ejecutaban, mientras que Hwang describía la patada en gancho con giro usando los modelos de sistema de un tronco y sistema de dos troncos. [13], [14], [15] Basado en sus análisis, realizó recomendaciones para que los entrenadores ayuden a sus deportistas a mejorar la ejecución de la patada. Dos años más tarde (1987) este mismo autor, analizó la patada frontal en látigo para:

- a) Investigar los patrones de los pares de fuerzas musculares de la cadera, la rodilla y el tobillo.
- b) Estudiar la secuencia de actividad de los grupos musculares dominantes.
- c) Verificar los tipos de contracción muscular.
- d) Estudiar las amplitudes de los movimientos segmentarios en relación a los pares de fuerzas musculares efectivos aplicados.

La patada frontal fue estudiada bajo dos condiciones: con y sin escudo de golpeo. Más tarde en 1989, Wohlin estudió a deportistas de élite de Taekwondo norteamericanos durante la ejecución de la patada en gancho con giro. El autor se interesó en la cinética y cinemática angular del cuerpo durante la patada. Además, analizó los movimientos rotacionales de la cabeza, hombros y caderas en relación unos con otros, la secuencia de la cinemática del muslo y la pierna, y la cinemática del pie mientras se aproximaba al objetivo.

A medida que evoluciona la tecnología se han creado instrumentos nuevos de medición, en el caso de Colombia se encontraron investigaciones de desarrollo de sistemas para medir la presión plantar. Una de estas investigaciones es “la descripción de un sistema para la medición de presiones plantares por medio del procesamiento de imágenes [16]; el cual hace referencia al desarrollo de un podobarógrafo para el análisis de la huella plantar, cuyo desarrollo incluyó la fabricación de un podoscopio, la selección de un material transductor adecuado y el desarrollo del software para el procesamiento de las imágenes capturadas por una cámara de video.

El dispositivo propuesto PodoMED permite realizar un análisis dinámico y estático de la huella, éste no solo muestra cómo es la distribución de las presiones en la planta del pie durante la marcha, por medio de imágenes en pseudocolor, sino que también tiene la opción de emitir una valoración de la huella, donde se logra observar medidas como el índice de valgo, el ángulo de Clarke, el índice de Hernández Corvo, entre otros.

A la par con lo anterior, está el proyecto “Estudio para el diseño de un Sistema Baropodométrico Electrónico” [17], el cual plantea que este sistema es un complemento eficaz que no intenta sustituir la exploración clínica ni ninguna otra exploración cualitativa podológica o radiológica; puesto que si se trabaja estos sistemas juntos se puede lograr un mejor conocimiento de las afecciones de los pies. Este estudio describe el proceso de diseño de un sistema Baropodométrico electrónico mediante el método cuantitativo, donde tienen en cuenta los requerimientos estándares, así como también los criterios para el diseño de las etapas específicas, las cuales son: unidad de sensado, unidad de acondicionamiento de la señal, unidad de monitoreo de la señal, unidad de procesamiento y despliegue. Este sistema permite obtener el mapa de distribución de presiones aplicadas sobre la planta del pie, con una alta resolución y sensibilidad, comparada con la de los podómetros cualitativos tradicionales como el podoscopio y las impresiones de tinta sobre papel.

Gracias al desarrollo de estos proyectos se puede realizar análisis biomecánicos para la elaboración de estudios de las distribuciones de presiones plantares, esto lleva a la comprensión de la función y biomecánica del pie no patológico y su aplicación posterior en los trastornos ortopédicos; entre otras aplicaciones. Una aplicación de este tipo de proyecto se demuestra en un estudio de “análisis biomecánico de la patada descendente modificada de Taekwondo” [18], realizado en el año 2007 donde se analizó de manera teórica los aspectos cinéticos y cinemáticos de la patada descendente modificada de Taekwondo. En esta patada se tiene totalmente rígida la pierna que golpea tanto en la fase de ascenso como en descenso, especulando que esta posición genera un momento angular suficiente para aumentar el riesgo de sufrir algunos tipos de lesiones en la competencia. Este estudio presenta una versión alternativa de esta patada que disminuye el momento de inercia en el descenso de la pierna, con lo cual se reduce las probabilidades de sufrir ciertos tipos de lesiones causadas por dicha patada. Posteriormente, se llega a la conclusión que es necesario desarrollar más estudios en los cuales se pueda cuantificar las diferencias entre diversas ejecuciones de este tipo de patadas, para determinar cuál es la mejor manera de realizar el movimiento.

Para la medición de las presiones plantares de las cuales se habla en los párrafos anteriores se utiliza un podoscopio el cual es un sencillo y versátil aparato clínico de diagnóstico que permite visualizar y estudiar las huellas plantares y los distintos ejes de los pies. Hace posible, asimismo, llevar a cabo el estudio del pie, tanto normal como patológico, con gran comodidad y rapidez.[19] Es el método cuantitativo para la determinación del pie pronador que es la rotación del pie hacia el interior, en el momento en que este entra en contacto con el suelo; pie supinador que es la rotación del pie hacia el exterior, en el momento en que este entra en contacto con el suelo, y pie neutro que se refiere a que en el momento en que el pie entra en contacto con el suelo, el pie no presenta ninguna rotación. Los resultados que entrega este dispositivo se encuentran codificados en pseudocolor, que es un código a escala de colores que va desde el color rojo que simboliza la presión más fuerte realizada por el cuerpo durante el gesto, pasando por colores intermedios como el amarillo y el verde y terminando en el color azul el cual simboliza la presión más baja realizada por el cuerpo durante el gesto.

En cuanto a las artes marciales, uno de los principales desafíos en los deportistas practicantes es lograr un efectivo posicionamiento corporal, tanto de las extremidades superiores, tronco y cabeza, como de las extremidades inferiores, que actúan en conjunto

para permitir un correcto desplazamiento del centro de gravedad y mantener el equilibrio corporal en cualquier ejecución de movimiento que se desee realizar. [20] No obstante, la posible aparición de fuerzas externas que obstaculicen la realización efectiva de un movimiento es un riesgo latente en un combate de artes marciales, ya sea por bloqueo o por la recepción de impactos, lo cual provoca la desestabilización corporal, que, teniendo en cuenta la función de las extremidades inferiores en el combate como estabilizadoras y equilibrantes, son las principales afectadas en dichos casos con la posible aparición de lesiones por falso apoyo plantar. Estas lesiones comprenden esguince de tobillo, fractura del quinto metatarsiano o fractura de Jones, además de metatarsalgias. [21]

Teniendo en cuenta los aspectos anteriormente mencionados, se hace la descripción de la posición base de combate, amigable con las angulaciones fisiológicas normales de los deportistas practicantes, la cual es la siguiente:

La posición preparatoria del cuerpo es con la parte anterior perpendicular al objetivo, con la pierna de apoyo lo más cerca posible del objetivo. Los brazos y la cabeza también se ajustarán a esta posición. Ambos pies están pegados al suelo y girados alrededor de 45° respecto al plano frontal. Resulta ventajoso tener el centro de gravedad equilibrado en una base de apoyo firme [22]; por tanto, el centro de gravedad se distribuye de manera regular sobre ambos pies. La anchura de separación de los pies no puede ser generalizada debido a las diferencias en la altura y longitud de las extremidades, pero el consejo de “tan ancho como la anchura de los hombros” es de gran utilidad en la práctica. Las rodillas están ligeramente flexionadas para facilitar la movilidad frontal, posterior y lateral.

## 6. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del proyecto planteado se tuvo en cuenta una metodología que ayudo a cumplir los objetivos específicos anteriormente mencionados. Primero, se hizo una exhaustiva búsqueda de información acerca de los estudios similares realizados por el Instituto Tecnológico Metropolitano u otras instituciones dentro del entorno local, observando que no se han realizado anteriormente estudios similares al planteado en este proyecto. Se hizo una búsqueda, enfatizando en el estudio y la caracterización de gestos deportivos a nivel nacional e internacional, del cual se obtuvo información acerca de diversos gestos deportivos similares.

Para describir la fuerza de los deportistas durante el gesto deportivo “patada baja” y la bipedestación se llevaron a cabo las siguientes actividades:

### 6.1 Procedimiento con los deportistas:

- Se convocó al grupo de artes marciales (Taekwondo) pertenecientes a la institución ITM a una reunión en la cual estuvo presente el entrenador, donde se acordaron los días y horas del estudio, llegando a la conclusión de que se harían tomas por parejas, para no afectar la normalidad de los entrenamientos, los días martes y jueves a las 6:00 p.m. Además de informar sobre la indumentaria necesaria para la efectiva realización de las tomas.
- Se dispuso en el laboratorio la indumentaria necesaria para la toma de la prueba, en caso tal de que el deportista no contara con el vestuario requerido. Dicha indumentaria constaba de unos pantalones de color negro que se ajustaban al cuerpo del deportista en caso de que este, fuese de género masculino, y se contaba adicionalmente con un top de color negro. ; en caso de que el sujeto de pruebas fuese de género femenino, se contaba adicionalmente con un top de color negro.
- Se seleccionaron 10 participantes practicantes de artes marciales dentro de la institución de los cuales solo 9 pudieron realizar efectivamente la prueba durante los días acordados debido a que el último de los participantes tuvo problemas de

salud, por lo que no pudo asistir a la prueba. Además de una avería en una de las cámaras de alta velocidad utilizadas en el análisis.

- Se iniciaron las tomas progresivamente los días martes y jueves como se acordó previamente.
- Se realizaron medidas antropométricas en cada uno de los segmentos de la extremidad inferior las cuales son, ancho de las espinas iliacas, longitud del muslo, diámetro del muslo, longitud de la pierna, diámetro de la pierna, diámetro de la rodilla, longitud del pie, altura de los maléolos (tobillos) y ancho del pie, para la correcta colocación de los marcadores reflectivos; a estos datos, se les anexa las variables edad, peso y estatura para cada uno de los deportistas. Las medidas antropométricas para cada deportista, se presentan en la siguiente tabla:

*Tabla 1 - Medidas antropométricas de cada uno de los deportistas de estudio.*

NOMBRE	DANIEL OLIER MORENO	CRISTINA VEGA	EDISON GOMEZ ORTEGA	JUAN RODRIGUEZ	FELIPE URREA	PEDRO ESTRELLA	SANTIAGO RESTREPO	CARLOS MARIN	SERGIO RAMIREZ
EDAD	22	23	23	31	22	21	18	29	19
PESO	62 1/2	52	71	82	93	73	75	69	82
ESTATURA	1.75	1.62	1.80	1.80	1.87	1.82	1.80	1.73	1.80
ANCHO DE LAS ESPINAS ILIACAS	31	29	29	37	39	30	27	32	32
LONGITUD DEL MUSLO	40	43	49	46	53	51	50	41	41
DIAMETRO DEL MUSLO	53	55	53	57	64	51	57	53	55
LONGITUD DE LA PIERNA	42	39	46	51	46	48	43	46	44
DIAMETRO DE LA PIERNA	34	33	38	38	44	36	40	41	40
DIAMETRO DE LA RODILLA	35	33	39	39	39	37	42	38	40
LONGITUD DEL PIE	26	24	27	26	29	27	27	27	27
ALTURA DE LOS MALEOLOS	8	7	8	8	9	8	7	9	7

ANCHO DEL PIE	9	9	11	11	14	11	11	10	12
---------------	---	---	----	----	----	----	----	----	----

- El deportista se coloca la indumentaria.
- Se realizó una prueba de bipedestación (análisis cinético estático) sobre la plataforma de fuerza; donde, el deportista se sitúa sobre dicha plataforma, paralelamente el software identifica los puntos de máxima presión plantar y la distribución del peso del deportista en ambos pies y posteriormente el deportista se retira de la plataforma para que el programa guarde la información captada, esto se hizo para cada uno de los deportistas de la misma forma.
- Se identificó si el deportista era pronador o supinador según la información arrojada por la prueba de bipedestación.

## 6.2 Equipos y Software:

- Se verificó el estado del funcionamiento y calibración de la plataforma de fuerza y del software controlador de la misma.
- En este análisis, se empleó, una plataforma dinamométrica piezoeléctrica, cámaras de alta velocidad, software de captación de datos, además de un espacio diseñado para el análisis de los mismos; en este estudio se utilizó la plataforma EcoWalk (figura 4), cinco (5) cámaras de alta velocidad BASLER acA640-120gc (figura 5) con una capacidad de grabación de 100 cuadros por segundo, es decir, la toma de fotogramas será efectuada cada 0.01 segundos, para hacer la captación del gesto en tiempo real.



Figura 4 – [Plataforma de presión EcoWalk] recuperado de:  
<http://www.elhospital.com/documenta/imagenes/113021/Ecowalk-Ortomec-GR-2.jpg>



Figura 5 – [Cámaras de alta velocidad]

De igual manera se cuenta con un laboratorio que consta de un área de 41.76 metros cuadrados en la cual se encuentran situadas las cámaras de alta velocidad y la plataforma de presión plantar EcoWalk de dimensiones 68cm x 54cm, para la cual se tuvo la necesidad de fijar al suelo mediante cinta adhesiva, puesto que no poseía un sistema de fijación.

La configuración de las cámaras y la plataforma se hizo como se muestra en la figura 6, con la finalidad de captar todos los planos posibles.

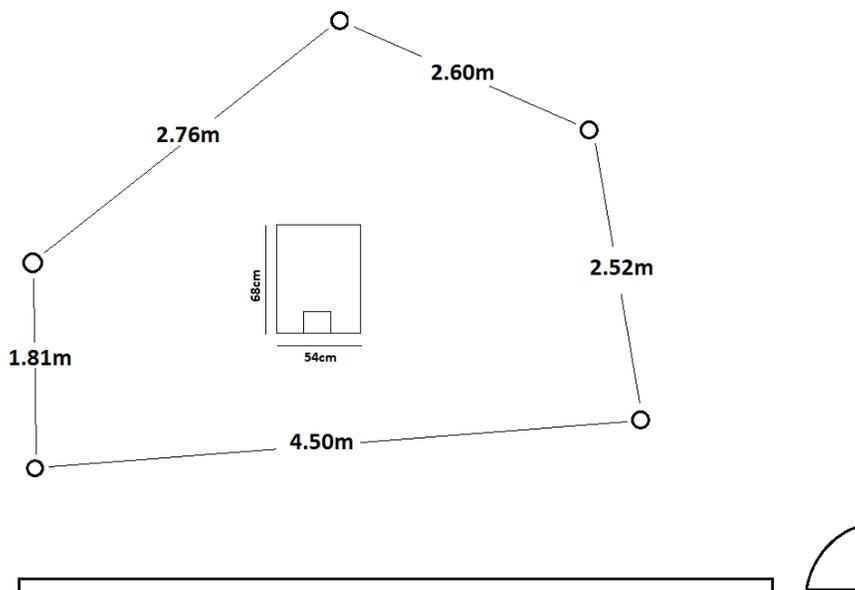


Figura 6 – [Ubicación de cámaras con respecto a la plataforma]

Además de un centro de control para el análisis de movimiento y de presión plantar.

Se cuenta con dos diferentes software utilizados para la elaboración de los análisis cinemático y de fuerza, como el Tempo Motion Analysis® y Ecofoot®.

Tempo Motion Analysis® encargado de analizar la captación del movimiento mediante las cámaras, además del cálculo de las distancias y los ángulos que forman las articulaciones en el gesto del sujeto analizado, para esto es necesario la colocación de marcadores reflectivos sobre los puntos de articulación corporal.

Ecofoot 4.0® encargado del análisis de los datos captados por la plataforma de presión plantar, también permite la visualización del porcentaje de apoyo plantar total, estabilometría tanto corporal como de cada uno de los pies, gráficos de fuerza durante el movimiento. Además de la vista de los resultados en 3 dimensiones, que se encuentran codificados en pseudocolor, que es un código a escala de colores que va desde el color rojo que simboliza la presión más fuerte realizada por el cuerpo durante el gesto, pasando por

colores intermedios como el amarillo y el verde y terminando en el color azul el cual simboliza la presión más baja realizada por el cuerpo durante el gesto.

- Para la caracterización cinemática del gesto deportivo analizado, fue necesario la utilización de un set de marcadores reflectivos dispuestos a lo largo de los segmentos inferiores, para la descripción de los movimientos articulares. Se utiliza un set de 11 marcadores para la disciplina de artes marciales, como se observa en la figura 7 en las vistas anterior, posterior y lateral. [23]

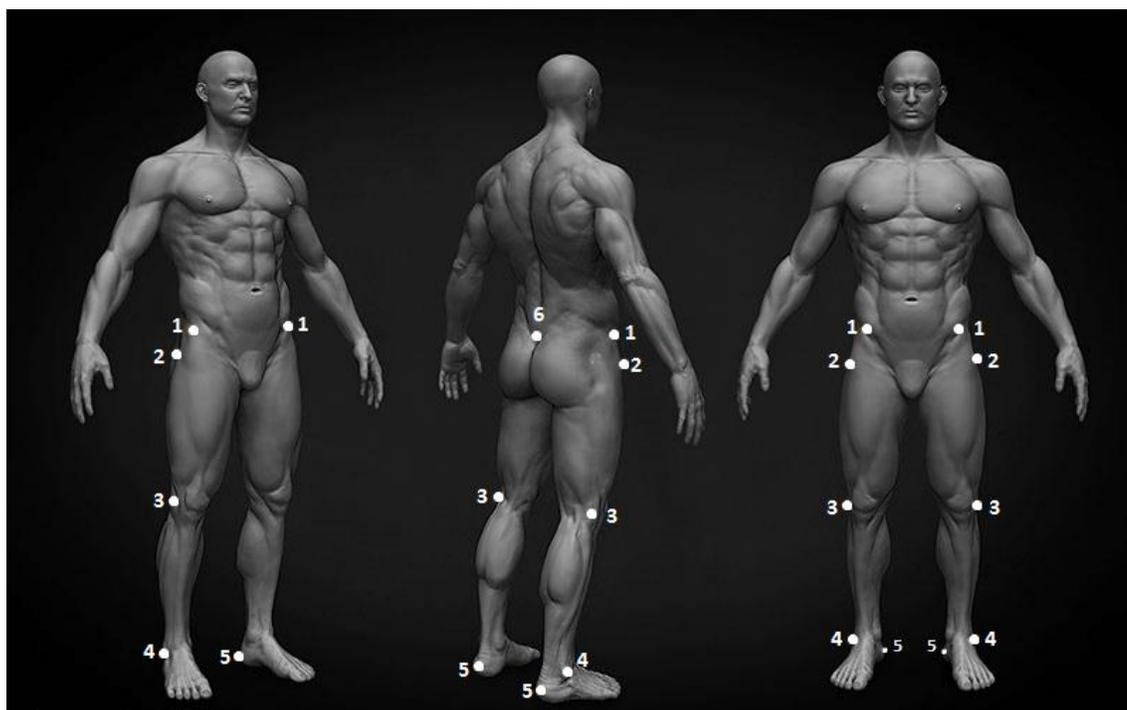


Figura 7 – [Set de marcadores para deportista de artes marciales] recuperado de:  
<http://static.tiendy.com/shops/animum/uploads/central-modelado-humano-realista.jpg>

### Convención de los Marcadores

1. Espina Iliaca Anterosuperior Derecha e Izquierda
2. Trocánter Mayor

3. Epicóndilo Femoral Derecho e Izquierdo

4. Maléolo Lateral Derecho e Izquierdo

5. Calcáneo Distal Derecho e Izquierdo

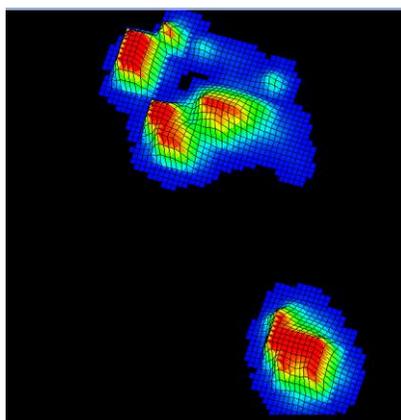
6. Sacro

Para la caracterización cinemática del gesto deportivo “patada baja”, se realizaron las siguientes actividades:

- Se calibraron las cámaras (ubicación, funcionamiento en conjunto), de forma que se adaptaran a la estatura de cada deportista que estuviese realizando la prueba en ese momento, por tal motivo, para cada una de las tomas realizadas en diferente deportista, era necesario una re calibración del ángulo de elevación de cada cámara.
- Se prepararon los marcadores reflectivos con la cinta adhesiva doble faz, para su posterior colocación en las articulaciones del deportista analizado.
- Se ubicaron los marcadores reflectivos en los deportistas.
- Se ejecutó la prueba de funcionamiento del sistema y del software, encendiendo las cámaras, para posteriormente realizar los videos del gesto con cada uno de los deportistas seleccionados.
- La toma se realizó en un entorno aislado (no en un combate real) en el laboratorio de biomecánica y rehabilitación del ITM, donde el deportista pateó un objetivo fijo (saco receptor de impacto). Así, la posición preparatoria era prácticamente estática.
- Se creó un registro para cada uno de los deportistas dentro de los softwares utilizados.

- Para el análisis cinético dinámico, se identificaron 3 momentos en los que el deportista actuaba según el funcionamiento de la plataforma, los cuales son respectivamente: ubicación del sujeto fuera de la plataforma, ingreso y ejecución del gesto deportivo por parte del deportista sobre la plataforma y por último el deportista se retira de la plataforma una vez culminado el gesto. Todo lo anterior se realiza de igual manera para cada uno de los deportistas analizados.
- Para el desarrollo del análisis cinético dinámico, se realizó un protocolo que constaba de 6 tomas por cada uno de los deportistas, para mitigar el error que puede presentarse cuando solo se hace una toma (verificación de repetibilidad).
- Para el análisis cinemático, no fue necesario la utilización del protocolo desarrollado para el análisis cinético dinámico.
- Se posiciona al deportista de manera que sea captado por todas las cámaras de alta velocidad, y se deja que escoja libremente la distancia a la que desea patear el objetivo (donde se sintiera cómodo y ejecutara con mayor eficacia el gesto).
- Se realizaron las toma de los datos cinéticos (presión plantar y fuerza) y cinemáticos (videos de alta velocidad).
- Seguidamente se hace el análisis de los videos donde se trazan las trayectorias y ángulos de los marcadores reflectivos, dado que esta trayectoria es la misma realizada por la articulación asignada a cada marcador.
- Con el software Templo Motion Analysis<sup>®</sup>, se realizó la conversión de la información del movimiento capturado de los marcadores en el espacio y en el tiempo; se inicia la creación del protocolo biomecánico, para lo cual hay que crear escalares, vectores, operaciones matemáticas, ángulos, entre otros, para obtener los datos cuantitativos del movimiento; también se calcularon los ángulos [24], [25], [26], [27]; además se obtuvieron los datos de posición, velocidad, fuerza y aceleración de los marcadores situados en los maléolos laterales y calcáneos distales de cada participante.

- Con el software Ecofoot<sup>®</sup>, se procedió a la construcción de la secuencia de los datos de las presiones plantares en 3D, para el pie de apoyo y para el pie de pateo.
- Con la información que se obtuvo en cada una de las articulaciones, se generó un reporte para el gesto “patada baja” estudiada con la información cuantitativa de la biomecánica del movimiento (cinemática) en cada uno de los eventos (listo para patear, patada, recuperación). [24], [25], [26], [27]
- A partir de los datos de captura por medio de la plataforma de presión EcoWalk, se desarrollaron videos en 3D con el software Ecofoot 4.0<sup>®</sup>.



*Figura 8 – [Puntos de máxima y mínima presión plantar]*

Para finalizar la descripción del proceso metodológico se buscó realizar una mejora de la técnica del gesto deportivo analizado, perteneciente a las artes marciales, permitiendo así, la reducción del grado de incidencia de las lesiones que normalmente surgen durante la práctica de dicha disciplina.

## 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvieron y analizaron datos de posición, velocidad, aceleración y fuerza de los marcadores [24], [25], [26], [27]; ubicados en las extremidades inferiores del deportista en cada uno de los ejes (x,y,z); y los ángulos articulares de movimiento en los diferentes planos biomecánicos, de las articulaciones que actúan de forma significativa en el gesto. Sin embargo, se explicarán en este proyecto los datos que se obtuvieron en los marcadores de los pies (tobillo y talón); y los ángulos realizados por algunas de las articulaciones, para caracterizar el gesto realizado por el deportista en términos cinemáticos, además de los datos de presión arrojados por la plataforma de fuerza.

Para el desarrollo del análisis cinético dinámico, se realizó un protocolo que constaba de 6 tomas por cada uno de los deportistas, para mitigar el error que puede presentarse cuando solo se hace una toma (verificación de repetibilidad).

Se realizó el análisis de presión plantar sobre la plataforma Ecowalk, y analizando con el programa EcoFoot se encontró que:

Al realizar la prueba de bipedestación sobre la plataforma de fuerza, 6 de los 9 deportistas que practican artes marciales y que realizaron el gesto deportivo de estudio, son supinadores; mientras que los otros 3 deportistas, son pronadores. Ninguno de los participantes presenta un pie neutro.

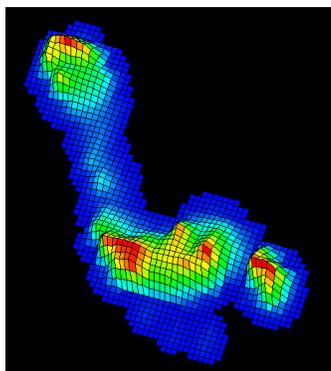


Figura 9 - [Pie Supinador]

**DISTANCIA DEL OBJETIVO CON RESPECTO AL PIE DE APOYO DEL DEPORTISTA:**

Se ejecutaron pruebas con un elemento fijo (saco) sobre el cual se descarga la patada, a una distancia elegida por el deportista, posteriormente se tomaron medidas con un metro, de las distancias donde cada deportista se sentía más confiado para golpear el objetivo (distancia elegida). Estas medidas se muestran en la siguiente tabla.

*Tabla 2. Distancias escogidas por cada uno de los deportistas para golpear el objetivo*

NOMBRE	CRISTINA VEGA	JUAN RODRIGUEZ	EDISON ORTEGA	FELIPE URREA	PEDRO ESTRELLA	CARLOS MARIN	SANTIAGO RESTREPO	SERGIO RAMIREZ	DANIEL OLIER
DISTANCIA DE TRABAJO ENTRE EL OBJETIVO Y EL DEPORTISTA (cm)	102.87	112.14	110.7	117.9	113.02	109.51	112.86	110.34	108.5

Según la altura y la capacidad elástica, cada deportista hizo elección de la distancia a la que se sintió más cómodo para realizar el gesto.

Con la finalidad de universalizar (que funcionen para todos) las distancias desde el pie de apoyo hasta el objetivo fijo, se comparan estas distancias elegidas por cada uno de los deportistas, con las estaturas respectivas (ver tabla 1 medidas antropométricas), se descubre que las distancias a las cuales los deportistas se sentían más cómodos para golpear el objetivo, pertenecían a un porcentaje de cada de la estatura del deportista que elige. Se halla entonces un porcentaje patrón muy similar para cada uno de los deportistas, por lo que podemos deducir y proponer la distancia a la que debe ser colocado el objetivo para que el gesto deportivo tenga más efectividad, y el deportista se siente más cómodo al ejecutar. Dicho patrón se halla como un porcentaje de la estatura total según la siguiente regla de 3.

$$\begin{aligned}
 & \textit{Altura total} = 100\% \\
 & \textit{Distancia del objetivo} = \textit{Distancia optima} \\
 & \frac{\textit{Distancia del objetivo} * 100}{\textit{Altura total}} = \textit{Distancia óptima del objetivo}
 \end{aligned}$$

Donde el Objetivo ideal es el porcentaje de la distancia respecto a la estatura.

Los porcentajes encontrados en el estudio se muestran en la siguiente tabla:

*Tabla 3. Porcentaje de la estatura total: objetivo ideal.*

NOMBRE	CRISTINA VEGA	JUAN RODRIGUEZ	EDISON ORTEGA	FELIPE URREA	PEDRO ESTRELLA	CARLOS MARIN	SANTIAGO RESTREPO	SERGIO RAMIREZ	DANIEL OLIER
% OBJETIVO IDEAL	63,5	62,3	61,5	63	62,1	63,3	62,7	61,3	62

**DISTANCIA OBJETIVO IDEAL PROMEDIO:  $561.7 \%/9 = 62.11\%$  de la estatura**

Con respecto en la tabla anterior y al promedio de los porcentajes de estatura podemos afirmar que la distancia optima del objetivo con respecto al pie de apoyo para cada deportista en la ejecución del gesto patada baja en la disciplina de artes marciales, corresponde aproximadamente al 62.11% de su estatura.

### **PRESION Y FUERZA PLANTAR**

Para el pie de apoyo y el pie que ejecuta la patada durante el gesto deportivo, se calculan los datos de presión y fuerza plantares, mediante la plataforma EcoWalk integrado al sistema EcoFoot.

Como datos de caracterización adicional del gesto deportivo, se tomaron las mediciones presentan de la tabla 4 a la tabla 7.

Debido al a forma de funcionamiento de la plataforma, se identificaron 3 momentos en la toma, los cuales son descritos de la siguiente manera: el sujeto de estudio estuvo en posición de reposo situado fuera de la superficie de la plataforma, posteriormente, ingresa a la plataforma, se posiciona y ejecuta el gesto deportivo. Finalmente se retira de la plataforma, para que esta finalice la toma de los datos.

A continuación se presentan los datos obtenidos de presión media, tiempo de captación de la presión y fuerza máxima aplicada en el pie de rotación o de apoyo.

*Tabla 4. Presión Media (KPa).*

NOMBRE	CRISTINA VEGA	JUAN RODRIGUEZ	EDISON ORTEGA	FELIPE URREA	PEDRO ESTRELLA	CARLOS MARIN	SANTIAGO RESTREPO	SERGIO RAMIREZ	DANIEL OLIER
<b>Pm</b>	303.8	318.7	310.4	426.9	334.9	453.9	268.2	393	418.1
<b>KPa</b>									

*Tabla 5. Tiempo de captación de la presión (ms).*

NOMBRE	CRISTINA VEGA	JUAN RODRIGUEZ	EDISON ORTEGA	FELIPE URREA	PEDRO ESTRELLA	CARLOS MARIN	SANTIAGO RESTREPO	SERGIO RAMIREZ	DANIEL OLIER
<b>TCP</b>	1350	1120	1500	1330	1240	1430	1720	1230	1050
<b>ms</b>									

*Tabla 6. Fuerza máxima de presión plantar (Kgf y N).*

NOMBRE	CRISTINA VEGA	JUAN RODRIGUEZ	EDISON ORTEGA	FELIPE URREA	PEDRO ESTRELLA	CARLOS MARIN	SANTIAGO RESTREPO	SERGIO RAMIREZ	DANIEL OLIER
<b>FmPP</b>									
<b>Kgf</b>	182	206.2	215.6	248.9	201.3	235.4	185.7	253	213.1
<b>N</b>	1784.8	2022.12	2114.3	2735.06	1974.07	2308.47	1821.08	2481.07	2089.78

*Tabla 7. Zonas de mayor presión plantar por deportista*

NOMBRE	CRISTINA VEGA	JUAN RODRIGUEZ	EDISON ORTEGA	FELIPE URREA	PEDRO ESTRELLA	CARLOS MARIN	SANTIAGO RESTREPO	SERGIO RAMIREZ	DANIEL OLIER
<b>ZmPP</b>	Falange distal I, II	Falange distal I,II	Falange distal II,IV	Falange distal I,II	Falange distal I,III,IV,V	Falange distal I,II,III,IV	Falange distal I,II,III,IV, V	Falange distal II,III,IV,V	Falange distal I,II,III,IV,V

	Metatarsianos I,IV, V	Metatarsianos I,II,III,IV	Metatarsianos I,II,III,IV,V	Metatarsiano I,II,III,IV,V	Metatarsianos I,II,III,IV,V	Metatarsiano I,II,III,IV,V	Metatarsiano I,II,III,IV,V	Metatarsiano II, III,IV, V	Metatarsiano I,V
	Calcáneo		Calcáneo	Calcáneo		Calcáneo	calcáneo	Calcáneo	Calcaneo

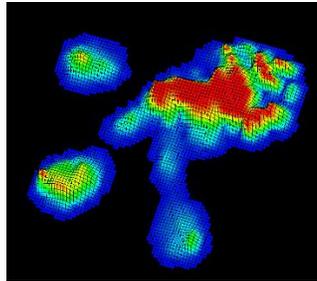


Figura 10 - [Zonas de mayor presión plantar]

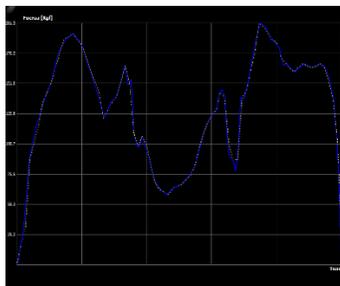


Figura 11 - [Gráfico de fuerza que ejerce el pie de rotación sobre la plataforma]

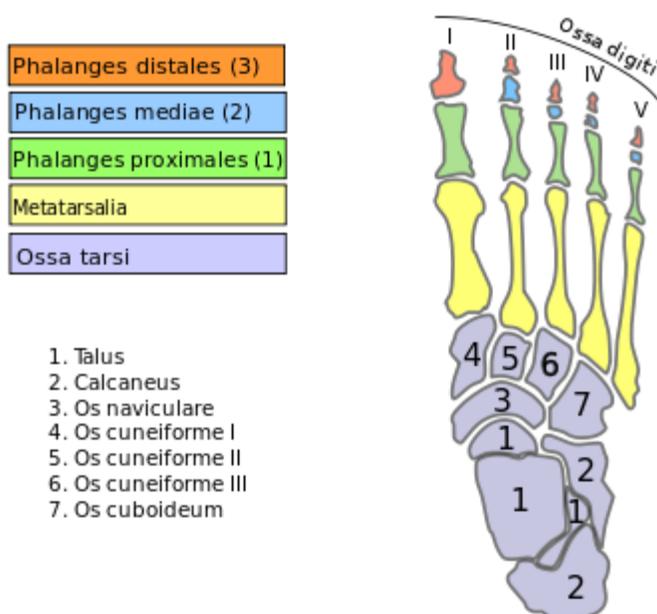


Figura 12 – [Anatomía del pie] recuperado de [https://es.wikipedia.org/wiki/Dedos\\_del\\_pie](https://es.wikipedia.org/wiki/Dedos_del_pie)

Según los datos presentados en la tabla anterior, se evidencia que solo dos de los deportistas presentan como punto fijo de rotación la parte superior del pie la cual compromete la zona de las falanges distales y metatarsianas.

A continuación se presentan los datos obtenidos de presión media, tiempo de captación de la presión y fuerza máxima aplicada en el pie que ejecuta el gesto o pie de patada.

Tabla 8. Presión Media (KPa).

NOMBRE	CRISTINA VEGA	JUAN RODRIGUEZ	EDISON ORTEGA	FELIPE URREA	PEDRO ESTRELLA	CARLOS MARIN	SANTIAGO RESTREPO	SERGIO RAMIREZ	DANIEL OLIER
Pm	229.4	310.9	237.6	219.9	291.5	154.1	169.7	267.4	272.6
KPa									

*Tabla 9. Tiempo de captación de la presión (ms).*

NOMBRE	CRISTINA VEGA	JUAN RODRIGUEZ	EDISON ORTEGA	FELIPE URREA	PEDRO ESTRELLA	CARLOS MARIN	SANTIAGO RESTREPO	SERGIO RAMIREZ	DANIEL OLIER
TCP	280	620	830	250	190	660	360	440	210
ms									

*Tabla 10. Fuerza máxima de presión plantar (Kgf y N).*

NOMBRE	CRISTINA VEGA	JUAN RODRIGUEZ	EDISON ORTEGA	FELIPE URREA	PEDRO ESTRELLA	CARLOS MARIN	SANTIAGO RESTREPO	SERGIO RAMIREZ	DANIEL OLIER
FMPP									
Kgf	144.6	191.8	137.7	185	141.6	130.8	141.8	175.9	182.3
N	1418.03	1880.9	1350.37	1814.22	1388.6	1282.7	1390.57	1724.98	1787.7

Comparando los datos con las gráficas obtenidas se realiza la siguiente tabla:

*Tabla 11. Zonas de mayor presión plantar por deportista*

NOMBRE	CRISTINA VEGA	JUAN RODRIGUEZ	EDISON ORTEGA	FELIPE URREA	PEDRO ESTRELLA	CARLOS MARIN	SANTIAGO RESTREPO	SERGIO RAMIREZ	DANIEL OLIER
ZMPP	Falange distal I  Metatarsianos I,II,III,IV	Falange distal I,II,III,IV  Metatarsianos II,III,IV,V	Falange distal I,II,III,IV,V  Metatarsianos I, II	Falange distal I,II,IV,V  Metatarsiano I,III,IV	Falange distal I,II  Metatarsianos I,IV  Calcaneo	Falange distal I,II,III  Metatarsiano I	Falange distal I,II  Metatarsiano I,II	Falange distal I,V  Metatarsiano I,II,III,IV	Falange distal I,II,III,IV  Metatarsiano I,II

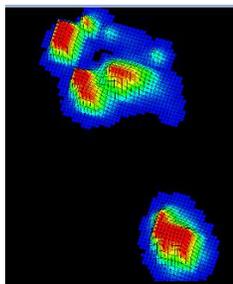


Figura 13 - [Zonas de mayor presión plantar]

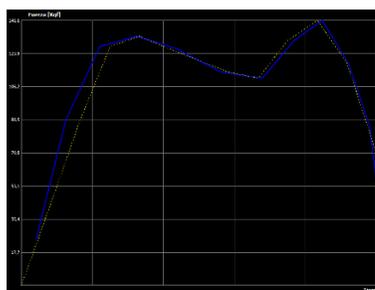


Figura 14 - [Gráfico de fuerza que ejerce el pie que ejecuta la patada sobre la plataforma]

Extrayendo los datos más relevantes de la tabla anterior, se puede concluir:

4 Deportistas ejercen mayor presión en la zona de las falanges distales de la I, II, III y IV; Todos los deportistas ejercen mayor presión sobre la falange distal I y esto es debido a la configuración de equilibrio corporal. Solo 1 deportista ejerce mayor presión sobre el calcáneo; 1 deportista ejerce presión máxima en el metatarsiano I; el metatarsiano que presenta mayor presión en el pie de patada de los deportistas es el II.

Para influir en el rendimiento y evitar lesiones, se debe tener una buena ejecución y control del equilibrio y para ello la posición del pie de apoyo no debe variar mucho con respecto a la posición inicial en el momento del impacto. [28], [29], [30] En esta caracterización, el marcador ubicado en el tobillo fue el punto de referencia para averiguar qué tanto se había movido en el eje (x,z) el pie de apoyo. En la figura 15 se aprecia la posición de estos marcadores en la ejecución de la patada baja y se observa que el pie derecho alcanza una altura de 1.04m al momento del impacto. Antes del despegue del pie que patea, la cadera debe rotar para imprimir una mayor potencia, por lo tanto el pie de apoyo (marcador del

metatarso izquierdo) experimenta un ángulo de rotación promedio de 86.75°, sin perder el contacto con el suelo para generar estabilidad en la realización del gesto. Por lo tanto es posible observar en el deportista, la correcta rotación de la cadera, lo cual va a influir en disminuir el riesgo de lesión al tener un adecuado control del equilibrio.

Tabla 12. Ángulos de rotación del pie de apoyo de los practicantes de artes marciales.

NOMBRE	CRISTINA VEGA	JUAN RODRIGUEZ	EDISON ORTEGA	FELIPE URREA	PEDRO ESTRELLA	CARLOS MARIN	SANTIAGO RESTREPO	SERGIO RAMIREZ	DANIEL OLIER
ÁNGULO °	49.9	163.7	102.9	59.6	80.3	5.9	153.1	101.2	64.2

ÁNGULO DE ROTACIÓN PROMEDIO:  $780.8/9 = 86.75^\circ$

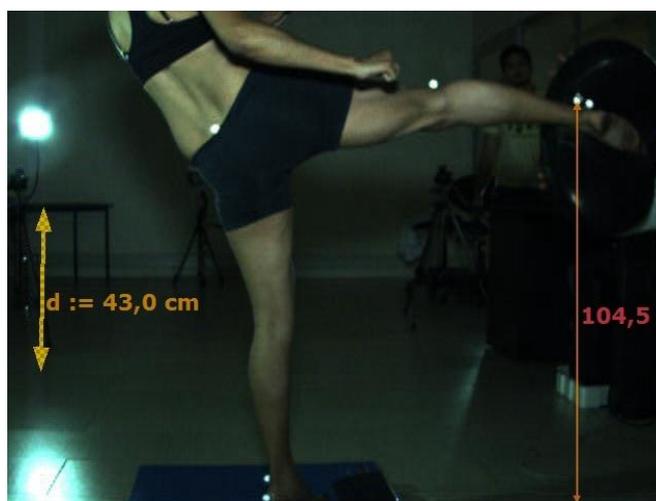


Figura 15 – [Altura máxima alcanzada por el pie en el gesto deportivo]

**MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DE LA PATADA:** Estudios en deportistas de alto rendimiento muestran velocidades máximas entre 6,6m/s y 8,8m/s en hombres para patadas frontales, patadas con giro (bandae chagi) y la patada (jonap). [28], [29], [30] Los datos comparativos que se obtuvieron en este estudio se muestran en la tabla 3, en la cual se pueden apreciar que los datos máximos de velocidad para los deportistas oscilaron entre 6,25m/s y 6,85m/s (Anexo 1), siendo muy cercanos a los valores mencionados, pero evidentemente los deportistas deben incrementar la velocidad entre 0,35m/s y 1,95m/s para lograr mayor competitividad, sin presentar riesgos de lesión.[30] Debido a esto, cabe hacer una revisión

de la velocidad y la aceleración respecto a los movimientos angulares que ayudan en la técnica para imprimir mayor velocidad y a su vez adaptar el cuerpo biomecánicamente para evitar lesiones, con el fin de determinar cuáles son los factores que ayudan a que se presenten velocidades altas y aumenten su rendimiento.

Con la ayuda del programa Tempo Motion Analysis® se hallaron las distancias totales recorridas por el pie, teniendo como base el marcador del tobillo.

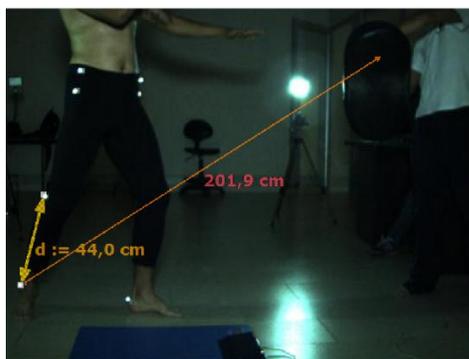


Figura 16 – [Posición inicial antes del despegue]

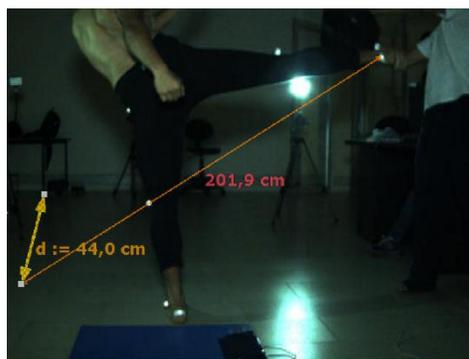


Figura 17 – [Distancia total hasta el momento del impacto con el objetivo]

Se halla un patrón de medición para cada uno de los deportistas individualmente, ya que la medida de la distancia total recorrida se ve afectada por variables no modificables como la estatura y la elasticidad de la persona. Este patrón está delimitado por la distancia entre los marcadores situados en la articulación de la rodilla y el tobillo (longitud de la pierna), la cual se observa en el apartado, longitud de la pierna de la tabla de medidas antropométricas.

Las distancias totales recorridas, son descritas en la siguiente tabla.

*Tabla 13. Distancias totales recorridas por la pierna que efectúa la patada.*

NOMBRE	CRISTINA VEGA	JUAN RODRIGUEZ	EDISON ORTEGA	FELIPE URREA	PEDRO ESTRELLA	CARLOS MARIN	SANTIAGO RESTREPO	SERGIO RAMIREZ	DANIEL OLIER
<b>DTR (cm)</b>	191.8	219	198.7	229.7	231.3	168.8	201.6	201.9	191

**DISTANCIA TOTAL PROMEDIO: 1833.8/9= 203.75 CM**

Para determinar el tiempo en que se ejecuta el gesto deportivo, el programa Templo Motion Analysis® cuenta con la herramienta de análisis de video de alta velocidad. Se toman el tiempo entre el momento del despegue y el momento del impacto en el objetivo fijo de la extremidad que ejecuta la patada. Los tiempos de ejecución del gesto registrados por los deportistas se muestran en la siguiente tabla.

*Tabla 14. Tiempo de ejecución de la patada desde el despegue hasta el impacto*

NOMBRE	CRISTINA VEGA	JUAN RODRIGUEZ	EDISON ORTEGA	FELIPE URREA	PEDRO ESTRELLA	CARLOS MARIN	SANTIAGO RESTREPO	SERGIO RAMIREZ	DANIEL OLIER
<b>TIEMPO</b> seg	0,28	0,6	0,46	0,61	0,37	0,41	0,71	0,45	0,56

## VELOCIDAD

Los datos de velocidad se hallaron con base en la siguiente formula:

$$v = \frac{d}{t}$$

Teniendo en cuenta los dos análisis anteriores se hace la aplicación de la fórmula de velocidad.

Se aplica la fórmula para cada uno de los datos de los deportistas (Anexo I). La velocidad de ejecución del gesto deportivo para cada uno de los deportistas se muestra en la siguiente tabla:

*Tabla 15. Velocidad de la ejecución del gesto para cada uno de los deportistas.*

NOMBRE	CRISTINA VEGA	JUAN RODRIGUEZ	EDISON ORTEGA	FELIPE URREA	PEDRO ESTRELLA	CARLOS MARIN	SANTIAGO RESTREPO	SERGIO RAMIREZ	DANIEL OLIER
VELOCIDAD m/s	6,85	3,65	4,31	3,76	6,25	4,11	2,83	4,45	3,41

VELOCIDAD PROMEDIO EN EJECUTAR LA PATADA:  $39,62/9 = 4,4$  m/seg

**MEDICIÓN DE LA MASA DE LA EXTREMIDAD INFERIOR, ACELERACIÓN Y FUERZA DE LA PATADA:** Se hallaron datos de fuerza teniendo en cuenta la masa segmentada del cuerpo, de cada uno de los deportistas como un parámetro inercial, donde el estudio del peso y la posición del centro de gravedad de cada uno de los segmentos corporales se abordan mediante técnicas experimentales, ya que dependen de la cantidad de materia que tienen los segmentos y de su distribución espacial, algo que particular en cada persona. [31]

Algunos autores han tratado de obtener parámetros inerciales con la intención de individualizarlos de manera que se pueda hallar el peso por segmento de manera universal, los procedimientos para obtenerlos resultan poco precisos y costosos. Por ello, lo más habitual es expresar el peso de cada segmento como un porcentaje del peso total del individuo. El modelo más empleado es el procedente de los estudios de Dempster y Clauser, que obtuvieron los datos mediante la desmembración de cadáveres [32], [33]; estos datos son los siguientes:

*Tabla 16. Parámetros inerciales determinados por Dempster y Clauser.*

SEGMENTO	MASA%	CG %	Punto proximal	Punto distal
Peso del muslo	10,3	37,19	art.cadera	tibia
Peso de la pantorrilla	4,3	37,05	tibia	art.tobillo
Peso del pie	1,5	44,9	talón	dedo 1º
Peso total de la pierna	<b>16,10</b>	<b>119,14</b>		

Recuperado de: <http://www.ergonautas.upv.es/metodos/biomecanica/biomecanica-ayuda.php>

En la Tabla anterior, la columna MASA indica la masa del segmento en porcentaje respecto a la masa total del sujeto. La columna CG indica el porcentaje, respecto a la longitud total del segmento correspondiente, al que se encuentra el centro de gravedad del segmento medido desde el punto proximal. [31]

La masa de cada segmento de la extremidad inferior de cada uno de los deportistas (Anexo 2) se muestra en la siguiente tabla:

*Tabla 17. Parámetros inerciales aplicados a cada uno de los sujetos de estudio.*

NOMBRE	DANIEL OLIER MORENO	CRISTINA VEGA	EDISON GOMEZ ORTEGA	JUAN RODRIGUE Z	FELIPE URREA	PEDRO ESTRELLA	SANTIAGO RESTREPO	CARLOS MARIN	SERGIO RAMIREZ
EDAD	22	23	23	31	22	21	18	29	19
PESO	62,5	52	71	82	93	73	75	69	82
ESTATURA	1.75	1.62	1.80	1.80	1.87	1.82	1.80	1.73	1.80
Masa del muslo	6,4375	5,356	7,313	8,446	9,579	7,519	7,725	7,107	8,446
Masa de la pantorrilla	2,6875	2,236	3,053	3,526	3,999	3,139	3,225	2,967	3,526
Masa del pie	0,9375	0,78	1,065	1,23	1,395	1,095	1,125	1,035	1,23
Masa total de la pierna	10,0625	8,372	11,431	13,202	14,973	11,753	12,075	11,109	13,202

## ACELERACIÓN

Según la distancia total recorrida por el pie de pateo, y el tiempo en que se demora en ejecutar el gesto desde el despegue hasta el impacto, se hallaron las aceleraciones de cada uno de los deportistas (Anexo 3) mediante la siguiente fórmula:

$$a = \frac{v - v_0}{t - t_0} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

En la captación cinemática del movimiento, se tomó la velocidad inicial como 0m/s, ya que no se ejecutaba ningún movimiento previo a la realización del gesto. Además, el tiempo inicial para el gesto se toma como 0 seg, ya que el pie de pateo se encuentra en la fase inicial de despegue (apoyado sobre el suelo), por lo que no se tiene ningún tipo de desplazamiento previo.

La siguiente tabla, corresponde a las aceleraciones calculadas para cada uno de los deportistas que ejecutaron el gesto:

*Tabla 18. Aceleración del gesto deportivo patada baja.*

NOMBRE	CRISTINA VEGA	JUAN RODRIGUEZ	EDISON ORTEGA	FELIPE URREA	PEDRO ESTRELLA	CARLOS MARIN	SANTIAGO RESTREPO	SERGIO RAMIREZ	DANIEL OLIER
ACELERACION	24.46	6.083	9.37	6.16	16.89	10.02	3.98	9.88	6.089
m/s <sup>2</sup>									

ACELERACIÓN PROMEDIO EN EJECUTAR LA PATADA:  $92,932/9 = 10,32 \text{ m/seg}^2$

## FUERZA

Una vez hallado la masa total de la pierna y la aceleración realizada durante el gesto deportivo se halla la fuerza (Anexo 4) con la siguiente fórmula:

$$F = ma$$

Donde, F es la fuerza que deseamos hallar, m la masa total de la pierna y a la aceleración que se experimenta al realizar el gesto deportivo.

La tabla que aparece a continuación pertenece a la fuerza que realiza cada uno de los deportistas al realizar el gesto deportivo patada baja.

*Tabla 19. Fuerza realizada por cada uno de los deportistas durante el gesto deportivo patada baja.*

NOMBRE	CRISTINA VEGA	JUAN RODRIGUEZ	EDISON ORTEGA	FELIPE URREA	PEDRO ESTRELLA	CARLOS MARIN	SANTIAGO RESTREPO	SERGIO RAMIREZ	DANIEL OLIER

<b>FUERZA (N)</b>	204,8	80,3	107,10	92,29	198,53	111,31	48,13	130,55	61,27
-------------------	-------	------	--------	-------	--------	--------	-------	--------	-------

FUERZA PROMEDIO AL EJECUTAR LA PATADA:  $1034,28/9 = 114,92$

**MEDICIÓN DE LOS ÁNGULOS:** Se calcularon los ángulos y se compararon con los ángulos normales referenciados encontrados en la literatura. Para la articulación de la cadera los valores normales están situados en valores de rotación interna de 43° y rotación externa de 80° [24], [25], [26]; sin embargo debido a la adaptación de los tendones al ser sometidos constantemente a esfuerzos de tensión y al pequeño rango de movimiento que presenta la articulación del tobillo, los valores de rotación interna y externa aumentaran o disminuirán unos 20° aproximadamente [34], sin embargo lo ideal es realizar un movimiento dentro de los valores fisiológicos normales, con el fin de evitar una lesión.

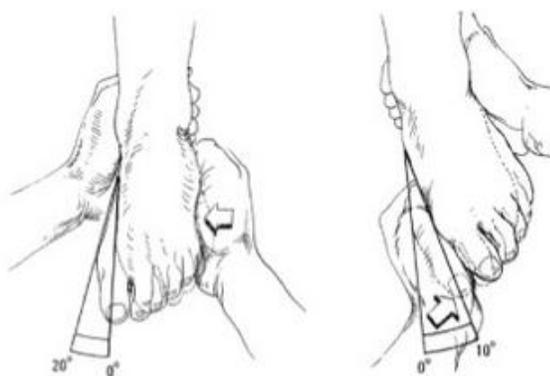


Figura 18 – [Ángulo de rotación del tobillo] recuperada de:  
<http://es.slideshare.net/pedroespinoza106/52756563-angulosyarcosdemovimiento>

Los resultados arrojaron los datos que se visualizan en la siguiente tabla.

Tabla 20. Ángulos de rotación de la cadera

NOMBRE	CRISTINA VEGA	JUAN RODRIGUEZ	EDISON ORTEGA	FELIPE URREA	PEDRO ESTRELLA	CARLOS MARIN	SANTIAGO RESTREPO	SERGIO RAMIREZ	DANIEL OLIER
<b>ANGULO ROTACION DE LA CADERA °</b>	49.9	163.7	102.9	59.6	80.3	5.9	153.1	101.2	64.2

ÁNGULO DE ROTACIÓN DE LA CADERA PROMEDIO:  $780.8/9 = 86.75^\circ$



Figura 19 – [Ángulo de rotación de la cadera]

Se puede observar que los deportistas Juan y Santiago, superan los ángulos de rotación de la cadera incluso con la angulación excedente permitida por el esfuerzo del ligamento, por lo que se recomienda la mejora de la ejecución de la rotación de cadera, dentro de los niveles normales, para así mejorar la ejecución del movimiento, evitando la aparición de lesiones.

#### **Ángulo de abducción de la cadera en el momento del impacto.**

Los valores de angulación estándar para la abducción de la cadera son de  $45^\circ$  a  $50^\circ$ . [34] Debido a que el movimiento en el momento del impacto presenta una abducción de ambas piernas para poder hacer la elevación del pie a la altura del objetivo, el ángulo estándar fisiológico de abducción de la cadera se encuentra dentro de los  $90^\circ$  a los  $100^\circ$  de pierna a pierna (ambas piernas se alejan del eje sagital y se suman sus ángulos con respecto a este eje).

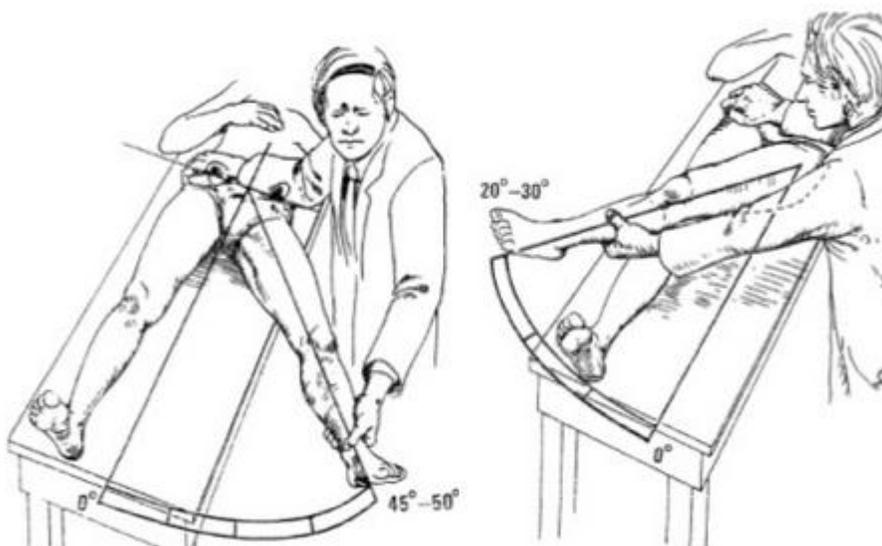


Figura 20 – [Ángulos de abducción y aducción de la cadera] recuperada de:  
<http://es.slideshare.net/pedroespinoza106/52756563-angulosyarcosdemovimiento>

En el momento en que el empeine impacta el objetivo se hicieron mediciones para calcular el ángulo de la cadera en abducción:

Tabla 21. Ángulo de abducción de la cadera

NOMBRE	CRISTINA VEGA	JUAN RODRIGUEZ	EDISON ORTEGA	FELIPE URREA	PEDRO ESTRELLA	CARLOS MARIN	SANTIAGO RESTREPO	SERGIO RAMIREZ	DANIEL OLIER
ÁNGULO ABDUCCION DE LA CADERA °	85.2	86.2	83	84.1	82.2	89.6	71	84	64.2

ÁNGULO DE ABDUCCIÓN DE LA CADERA PROMEDIO:  $729.5/9 = 81.05^\circ$

Como se observa en la tabla anterior, todos los deportistas ejecutaron el movimiento dentro de los valores fisiológicos normales permitidos por la articulación de la cadera.

La toma de las distancia se hacen con respecto al marcador situado en el calcáneo distal (talón).

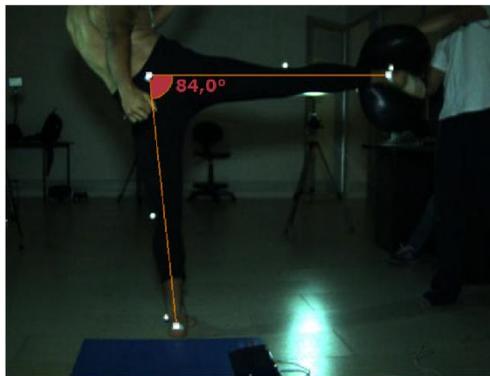


Figura 21 – [Ángulo de abducción e la cadera]

Posteriormente se halla la distancia entre los marcadores situados en los calcáneos, en la Posición de impacto para cada uno de los deportistas de la siguiente forma.

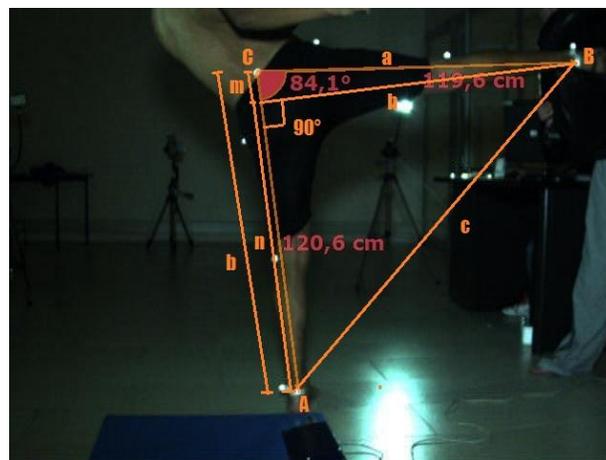


Figura 22 – [Análisis de la posición de impacto]

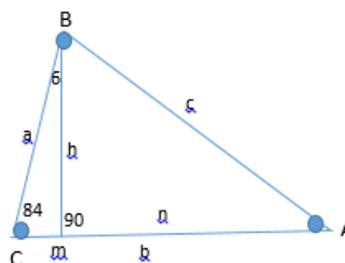


Figura 23 – [Análisis de la Posición de impacto]

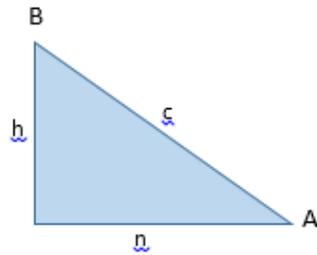


Figura 24 – [Análisis de la Posición de impacto]

$$a^2 = h^2 + m^2$$

$$a^2 = h^2 + (b-n)^2$$

$$a^2 = h^2 + b^2 - 2bn + n^2 \quad (1)$$

$$h^2 = c^2 - n^2 \quad (2)$$

Reemplazando (2) en (1) se tiene

$$a^2 = c^2 - n^2 + b^2 - 2bn + n^2$$

$$a^2 = c^2 + b^2 - 2bn$$

Donde,

$$n = c \cos A$$

$$m = a \cos C$$

$$n = b - m$$

Retomando

$$a^2 = c^2 + b^2 - 2bn$$

Despejando C

$$2bn+a^2-b^2=c^2$$

$$c=\sqrt{2bn+a^2-b^2}$$

Teniendo en cuenta el análisis anterior para hallar la distancia entre los marcadores ubicados en los calcáneos distales, la siguiente tabla muestra las distancias halladas.

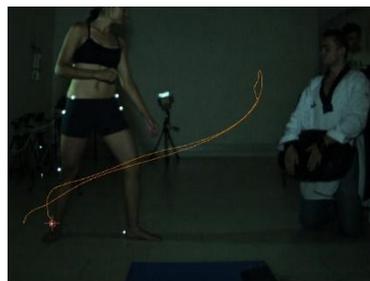
*Tabla 22. Distancias entre los calcáneos distales.*

NOMBRE	CRISTINA VEGA	JUAN RODRIGUEZ	EDISON ORTEGA	FELIPE URREA	PEDRO ESTRELLA	CARLOS MARIN	SANTIAGO RESTREPO	SERGIO RAMIREZ	DANIEL OLIER
DISTANCIA ENTRE CALCANEOS DISTALES (cm)	137.7	162.48	134.04	147.37	155.66	126.09	126.04	134.6	123.36

En la anterior tabla 22, se puede observar como las variables de estatura y elasticidad de cada deportista, afectan la obtención de los datos. Normalmente se esperaría que los deportistas con mayores dimensiones corporales alcancen distancias mucho más grandes que las que alcanzan los deportistas con menos dimensiones, sin embargo el análisis de los datos apoyados en la tabla anterior demuestra que esto es totalmente dependiente de las dos variables anteriormente mencionadas.

### TRAYECTORIA DE LA ARTICULACIÓN

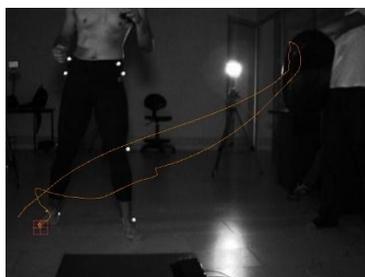
Trayectoria del marcador reflectivos colocado sobre la articulación del tobillo, durante la ejecución del gesto deportivo.



*Figura 25 – [Trayectoria articulación del tobillo]*



*Figura 26 – [Trayectoria articulación del tobillo]*



*Figura 27 – [Trayectoria articulación del tobillo]*

Esta trayectoria fue obtenida con el seguidor de marcadores del programa Tempo Motion Analysis.

En la figura 25 se observa que la trayectoria descrita por el marcador del tobillo en cuanto al momento ascendente de la patada, es muy similar al momento descendente de la misma; idealmente es lo correcto, ya que la posición resultante después de ejecutar la patada, es la posición inicial del gesto. La fuerza ejercida por el pie de pateo en el momento ascendente del gesto, genera una desestabilización que se ve compensada por la posición del pie de apoyo (rotación de la cadera) y la inclinación del tronco, por lo que para la optimización del movimiento sería correcto que en la parte descendente del gesto, la articulación describiera la misma trayectoria de ascenso, para no generar fuerzas adicionales sobre la articulación del pie de apoyo que contribuyan en la aparición de una lesión, lo cual se puede observar en las imágenes 26 y 27.

## 8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

La ejecución del estudio no resulto perjudicar a ninguno de los deportistas en cuanto a su horario de entrenamiento ya que todos accedieron voluntariamente (ver anexo 5 consentimiento informado) después de ser explicado el protocolo, no obstante si se presentaron algunas dificultades en cuanto al porte de la indumentaria, ya que muchos no contaban con ésta, los días acordados para la realización del estudio. Por esto algunos participantes debieron posponer la toma de los datos para el siguiente día de entrenamiento.

Los problemas de salud de uno de los participantes predefinidos para la realización del estudio, impidieron la culminación del mismo con todos los pacientes satisfactoriamente, añadiendo a este problema, que una de las cámaras de alta velocidad dejo de emitir la señal de video por lo cual también se hubiese visto obligada la parada de la ejecución del proyecto.

Inicialmente las cámaras estaban configuradas espacialmente para un análisis de marcha, por lo cual se hizo la recolocación de las cámaras de manera que se tuviera plena captación de los marcadores colocados en la extremidad inferior del deportista. Esta configuración fue óptima para la realización eficaz y eficiente de las mediciones necesarias para concluir el estudio satisfactoriamente.

Durante la realización del estudio se hizo evidente el área insuficiente de la plataforma para la ejecución de movimientos más amplios, ya que los deportistas casi alcanzaban el límite de la superficie total de la plataforma.

Debido a la forma de funcionamiento de la plataforma de fuerza fue necesario implementar un protocolo (descrito en la metodología del presente proyecto) con el cual el movimiento fuese lo más natural posible. Se recomienda realizar el estudio sobre una banda caminadora ya que el tipo de sensor, la extensión de superficie y el modo de funcionamiento son mucho más óptimos para este tipo de análisis, o en su defecto una plataforma dinamométrica de mayor extensión y mejor optimizada que permita que la posición inicial para la realización de análisis dinámicos sea dentro de la plataforma y no fuera de ella.

En cuanto al espacio para la realización del estudio, la extensión y las dimensiones del laboratorio de marcha y rehabilitación influyeron positivamente en la culminación exitosa

del proyecto. Sin embargo, posee factores que pueden limitar o entorpecer la correcta toma de los datos en cuanto al análisis cinemático, estos factores son: las paredes están pintadas de color blanco, posee ventanas de vidrio que reflejan las luces emitidas por las lámparas de las cámaras y posteriormente son captadas por el lente de las mismas impidiendo la correcta captación de los marcadores reflectivos el piso esta hecho en material que refleja gran cantidad de luz emitida por las lámparas, y el equipo que posee los software, que captan los datos emitidos por las cámaras de alta velocidad y la plataforma de presión plantar, se encuentra dentro del espacio donde los participantes del estudio ejecutan los movimientos, por lo que se tuvieron también algunos problemas debido al espacio limitado. Se recomienda la realización del estudio con colocación de lonas de color negro sobre las paredes y ventanas del laboratorio, además de un tapiz no reflectivo sobre la superficie del suelo.

En cuanto al análisis cinético, la plataforma dinamométrica poseía una base lisa que disminuía el coeficiente de fricción con el suelo también liso, por lo que nos vimos obligados a la fijación de la plataforma con cinta doble faz, para la efectiva realización del estudio.

Sin embargo y pese a las condiciones del espacio, se obtuvieron resultados satisfactorios, y la culminación del estudio se hizo efectiva.

La funcionalidad de los software que realizan la captación de los datos, tanto de las cámaras de alta velocidad (Templo Motion Analysis®) como de la plataforma de presión plantar (Ecofoot 4.0®) fue satisfactoria. El análisis y captación de las variables analizadas en el estudio, arrojó los datos necesarios para la culminación del mismo. El equipo que tenía instalados los software de análisis de datos, poseía ciertas averías como el no funcionamiento de algunos núcleos de su procesador lo que provocaba cierres inesperados de los software trabajados, o la no lectura de hardware como cámaras o la plataforma dinamométrica, sin embargo se superaron estas dificultades.

Inicialmente se encontraron problemas en cuanto a la asistencia de los participantes al estudio, debido a que la asistencia a los entrenamientos lo hacía cada 8 días.

El punto más difícil trabajado con los deportistas fue el tema de la indumentaria, ya que muchos no la poseían. El poseer la indumentaria extra fue un punto clave en la culminación exitosa y a tiempo del estudio.

La colocación de la configuración específica de los 11 marcadores descrita en la metodología de este proyecto, fue un punto a favor, que funcionó para hallar el patrón de medición para cada uno de los deportistas en el software Templo Motion Analysis® (ya que todos no tenían las mismas dimensiones corporales), además de mitigar el problema de la captación de luz incidente a los lentes de las cámaras proveniente de la reflexión de luz sobre la superficie del suelo, arrojan una correcta descripción de los ángulos de rotación principales de la investigación como el de la cadera y del tobillo, abducción de piernas en el gesto de la patada y distancias de extremidades, distancias recorridas y alturas. Así que para este tipo de análisis es recomendable tomar la configuración utilizada en esta investigación.

No se identificaron deportistas neutrales dentro de la caracterización de la huella plantar. Sin embargo se hallaron más supinadores que pronadores, esto es debido al ángulo de giro de la cadera y la fuerza que ejerce el miembro que patea, sobre el pie de apoyo, manteniendo a este en un estado de sobre supinación contrarrestando el empuje para mantener el centro de gravedad y no perder el equilibrio.

Para los casos pronadores es correcto decir que la elongación del ligamento del tobillo, resultante de las altas fuerzas a las que se ve sometida esta articulación, puede llevar a un estado de pronación según las actividades diarias realizadas por el deportista.

Se modificaron los ángulos de las cámaras según la altura del deportista, para una mejor captación de los marcadores reflectivos, pues en varias ocasiones se salían del plano de la cámara.

Se halló un porcentaje patrón en las distancias escogidas libremente por cada uno de los deportistas a la cual estaría el objetivo, de manera que el gesto se efectuase de la mejor manera posible. Dicho patrón es proporcional a la estatura de cada uno de los participantes, encontrando valores similares del 61% al 63% de la estatura total del sujeto. La distancia óptima de un objetivo desde el pie de apoyo, en la ejecución del movimiento patada baja de la disciplina artes marciales se encuentra aproximadamente al 62.11% de su altura total.

La fuerza, aceleración y velocidad se hallaron teniendo en cuenta los tiempos registrados por las cámaras, la distancia total recorrida captada por el software Templo Motion Análisis, en el marcador localizado en la articulación del tobillo desde el punto de inicio del gesto en el pie que patea, hasta el punto de impacto con el objetivo.

Queda pendiente como trabajo a futuro la captación de la fuerza de recepción de la patada con sensores de fuerza que se localicen en el objetivo, además de la captación de la velocidad de ejecución del movimiento mediante radares de velocidad para una mayor precisión en los cálculos de la aceleración y fuerza, variables realmente importantes y significativas para los deportistas de artes marciales.

Esta investigación permitió mostrar resultados cuantitativos de la cinemática del gesto: velocidades, aceleraciones, posiciones y ángulos del gesto realizados por el deportista.

Fue posible evidenciar que los deportistas desarrollaron una adecuada técnica, sin embargo, deben imprimir mayor velocidad en la patada y controlar mínimamente sus movimientos articulares para evitar lesiones a futuro y mejorar el rendimiento. [25], [26]

Para la propuesta de mejora de la técnica se hace evidente la necesidad de trabajo de fortalecimiento muscular por parte de los deportistas, sea efectuando otro tipo de actividades deportivas o visitas frecuentes al gimnasio, esto permitirá un fortalecimiento de las articulaciones asociadas y disminuirá el riesgo de lesión.

Según los resultados obtenidos, se describe entonces la ejecución correcta del movimiento que tendrá mayor efectividad y menor riesgo de ocasionar una lesión.

Se parte inicialmente desde la posición de combate, aclarando que el objetivo deberá estar situado a una distancia del 62.11% de la estatura, con respecto al pie de apoyo del deportista que ejecuta el gesto y a la misma altura de la cadera. Posteriormente se empina el pie de apoyo (extensión del tobillo) sobre todos los huesos metatarsianos para una mejor distribución del peso (así deberá permanecer hasta la culminación del movimiento). Con la rodilla del pie de apoyo en semi- flexión, se hace una rotación externa de la cadera de 43°, y se desplaza el peso del cuerpo sobre el pie de apoyo en extensión de tobillo, permitiendo la elevación de la pierna de pateo. La pierna de pateo, inicialmente estará en la posición base de combate, posteriormente hará una flexión total de rodilla y una flexión de cadera a unos 100° (llevar la rodilla un poco más arriba de la cadera) también con el tobillo en extensión, abduciendo la misma hasta alcanzar aproximadamente unos 81° con respecto al pie de apoyo, mientras este va rotando hasta alcanzar los 80° fisiológicamente permitidos.

Seguida a esta posición, la pierna de pateo realiza una extensión total de rodilla con la mayor fuerza posible, para que el pie en extensión de tobillo (empeine), golpee el objetivo.

Después de impactar el objetivo, la pierna de pateo realiza una flexión total de rodilla, extiende la cadera, al mismo tiempo que la aduce y posteriormente extiende la rodilla hasta volver a la posición inicial.

La pierna de apoyo se mantiene en extensión de tobillo durante la ejecución de todo el gesto, ligeramente abducida, cuando el objetivo es impactado, espera a que la pierna de pateo vuelva a su estado de flexión de rodilla, para empezar a girar la cadera en sentido contrario al inicial, y volver a la posición de combate.

Posteriormente se invita a revisar los ángulos de rotación de la cadera, estrecharlos para mantener los límites angulares fisiológicos normales, esto evitara la posible aparición de una lesión y la mejora en la técnica de ejecución del gesto deportivo.

## 9. ANEXOS

### ANEXO 1

Velocidad de ejecución del gesto deportivo patada baja de cada uno de los participantes practicantes de artes marciales.

$$v = \frac{d}{t}$$

#### CRISTINA VEGA

V=191,8 cm/0,28 segundos

V= 685 cm/seg  $\approx$  **6,85 m/seg**

#### JUAN RODRIGUEZ

V= 219 cm/0,6 segundos

V= 365 cm/seg  $\approx$  **3,65 m/seg**

#### EDISON ORTEGA

V= 198,7 cm/0,46 segundos

V= 431,95 cm/seg  $\approx$  **4,31 m/seg**

#### FELIPE URREA

V= 229,7 cm/0,61 segundos

V= 376,55 cm/seg  $\approx$  **3,76 m/seg**

#### PEDRO ESTRELLA

V= 231,3 cm/0,37 segundos  
V= 625,13 cm/seg  $\approx$  **6,25 m/seg**

**CARLOS MARIN**

V= 168,8 cm/0,41 segundos  
V= 411,7 cm/seg  $\approx$  **4,11 m/seg**

**SANTIAGO RESTREPO**

V= 201,6 cm/0,71 segundos  
V= 283,94 cm/seg  $\approx$  **2,83 m/seg**

**SERGIO RAMIREZ**

V= 200,3 cm/0,45 segundos  
V= 445,11 cm/seg  $\approx$  **4,45 m/seg**

**DANIEL OLIER**

V= 191 cm/0,56 segundos  
V= 341,07 cm/seg  $\approx$  **3,41 m/seg**

VELOCIDAD PROMEDIO EN EJECUTAR LA PATADA:  $39,62/9 =$  **4,4 m/seg**

## ANEXO 2

Masa de la pierna de cada uno de los participantes de estudio.

### CRISTINA VEGA

Masa del muslo (kgr)= Peso corporal \* % masa

Masa del muslo (kgr)= 52kgr \* 10,3% = 5,356 kgr

Masa de la pantorrilla (kgr)= 52kgr \* 4,3% = 2,236 kgr

Masa del pie (kgr) = 52kgr \* 1,5% = 0,78 kgr

Masa total de la pierna (kgr) = 52kgr \* 16,10% = **8,372 kgr**

### JUAN RODRIGUEZ

Masa del muslo (kgr)= Peso corporal \* % masa

Masa del muslo (kgr)= 82kgr \* 10,3% = 8,446 kgr

Masa de la pantorrilla (kgr)= 82kgr \* 4,3% = 3,526 kgr

Masa del pie (kgr) = 82kgr \* 1,5% = 1,23 kgr

Masa total de la pierna (kgr) = 82kgr \* 16,10% = **13,202 kgr**

### EDISON ORTEGA

Masa del muslo (kgr)= Peso corporal \* % masa

Masa del muslo (kgr)= 71kgr \* 10,3% = 7,313 kgr

Masa de la pantorrilla (kgr)= 71 kgr \* 4,3% = 3,053 kgr

Masa del pie (kgr) = 71 kgr \* 1,5% = 1,065 kgr

Masa total de la pierna (kgr) = 71 kgr \* 16,10% = **11,431 kgr**

### FELIPE URREA

Masa del muslo (kgr)= Peso corporal \* % masa

Masa del muslo (kgr)= 93kgr \* 10,3% = 9,579 kgr

Masa de la pantorrilla (kgr)= 93kgr \* 4,3% = 3,999 kgr

Masa del pie (kgr) = 93 kgr \* 1,5% = 1,395 kgr

Masa total de la pierna (kgr) = 93 kgr \* 16,10% = **14,973 kgr**

### **PEDRO ESTRELLA**

Masa del muslo (kgr)= Peso corporal \* % masa

Masa del muslo (kgr)= 73kgr \* 10,3% = 7,519 kgr

Masa de la pantorrilla (kgr)= 73kgr \* 4,3% = 3,139 kgr

Masa del pie (kgr) = 73kgr \* 1,5% = 1,095 kgr

Masa total de la pierna (kgr) = 73kgr \* 16,10% = **11,753 kgr**

### **CARLOS MARIN**

Masa del muslo (kgr)= Peso corporal \* % masa

Masa del muslo (kgr)= 69kgr \* 10,3% = 7,107 kgr

Masa de la pantorrilla (kgr)= 69kgr \* 4,3% = 2,967 kgr

Masa del pie (kgr) = 69kgr \* 1,5% = 1,035 kgr

Masa total de la pierna (kgr) = 69kgr \* 16,10% = **11,109 kgr**

### **SANTIAGO RESTREPO**

Masa del muslo (kgr)= Peso corporal \* % masa

Masa del muslo (kgr)= 75kgr \* 10,3% = 7,725 kgr

Masa de la pantorrilla (kgr)= 75kgr \* 4,3% = 3,225 kgr

Masa del pie (kgr) = 75kgr \* 1,5% = 1,125 kgr

Masa total de la pierna (kgr) = 75kgr \* 16,10% = **12,075 kgr**

### **SERGIO RAMIREZ**

Masa del muslo (kgr)= Peso corporal \* % masa

Masa del muslo (kgr)= 82kgr \* 10,3% = 8.446 kgr

Masa de la pantorrilla (kgr)= 82kgr \* 4,3% = 3,526 kgr

Masa del pie (kgr) = 82kgr \* 1,5% = 1,23 kgr

Masa total de la pierna (kgr) = 82kgr \* 16,10% = **13,202 kgr**

### **DANIEL OLIER**

Masa del muslo (kgr)= Peso corporal \* % masa

Masa del muslo (kgr)=  $62,5 \text{ kgr} * 10,3\% = 6,4375 \text{ kgr}$

Masa de la pantorrilla (kgr)=  $62,5 \text{ kgr} * 4,3\% = 2,6875 \text{ kgr}$

Masa del pie (kgr) =  $62,5 \text{ kgr} * 1,5\% = 0,9375 \text{ kgr}$

Masa total de la pierna (kgr) =  $62,5 \text{ kgr} * 16,10\% = \mathbf{10,0625 \text{ kgr}}$

## ANEXO 3

Aceleración en la ejecución del gesto deportivo patada baja de cada uno de los participantes practicantes de artes marciales.

$$a = \frac{v - v_0}{t - t_0} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

### CRISTINA VEGA

$$a = (6,85 \text{ m/seg}) / (0,28 \text{ segundos})$$
$$a = 24,46 \text{ m/seg}^2$$

### JUAN RODRIGUEZ

$$a = (3,65 \text{ m/seg}) / (0,6 \text{ segundos})$$
$$a = 6,083 \text{ m/seg}^2$$

### EDISON ORTEGA

$$a = (4,31 \text{ m/seg}) / (0,46 \text{ segundos})$$
$$a = 9,37 \text{ m/seg}^2$$

### FELIPE URREA

$$a = (3,76 \text{ m/seg}) / (0,61 \text{ segundos})$$
$$a = 6,16 \text{ m/seg}^2$$

### PEDRO ESTRELLA

$$a = (6,25 \text{ m/seg}) / (0,37 \text{ segundos})$$
$$a = 16,89 \text{ m/seg}^2$$

**CARLOS MARIN**

$$a = (4,11 \text{ m/seg}) / (0,41 \text{ segundos})$$

$$a = 10,02 \text{ m/seg}^2$$

**SANTIAGO RESTREPO**

$$a = (2,83 \text{ m/seg}) / (0,71 \text{ segundos})$$

$$a = 3,98 \text{ m/seg}^2$$

**SERGIO RAMIREZ**

$$a = (4,45 \text{ m/seg}) / (0,45 \text{ segundos})$$

$$a = 9,88 \text{ m/seg}^2$$

**DANIEL OLIER**

$$a = (3,41 \text{ m/seg}) / (0,56 \text{ segundos})$$

$$a = 6,089 \text{ m/seg}^2$$

ACELERACIÓN PROMEDIO EN EJECUTAR LA PATADA:  $92,932/9 = 10,32 \text{ m/seg}^2$

## ANEXO 4

Fuerza realizada durante el gesto deportivo patada baja por cada uno de los sujetos de prueba.

$$F = ma$$

### CRISTINA VEGA

$$F = 8,372 \text{ kg} * (24,46 \text{ m/seg}^2)$$

$$F = 204,8 \text{ N}$$

### JUAN RODRIGUEZ

$$F = 13,202 \text{ kg} * (6,083 \text{ m/seg}^2)$$

$$F = 80,3 \text{ N}$$

### EDISON ORTEGA

$$F = 11,431 \text{ kg} * (9,37 \text{ m/seg}^2)$$

$$F = 107,10 \text{ N}$$

### FELIPE URREA

$$F = 14,973 \text{ kg} * (6,16 \text{ m/seg}^2)$$

$$F = 92,29 \text{ N}$$

### PEDRO ESTRELLA

$$F = 11,753 \text{ kg} * (16,89 \text{ m/seg}^2)$$

$$F = 198,53 \text{ N}$$

### CARLOS MARIN

$$F = 11,109 \text{ kg} * (10,02 \text{ m/seg}^2)$$

$$F = 111,31 \text{ N}$$

**SANTIAGO RESTREPO**

$$F = 12,075 \text{ kg} * (3,98 \text{ m/seg}^2)$$

$$F = 48,13 \text{ N}$$

**SERGIO RAMIREZ**

$$F = 13,202 \text{ kg} * (9,88 \text{ m/seg}^2)$$

$$F = 130,55 \text{ N}$$

**DANIEL OLIER**

$$F = 10,0625 \text{ kg} * (6,089 \text{ m/seg}^2)$$

$$F = 61,27 \text{ N}$$

## ANEXO 5

Consentimientos informados.

## REFERENCIAS

- [1] J. A. Osorio Ciro, M. P. Clavijo Rodriguez, E. Arango V, S. Patiño Giraldo y I. C. Gallego Ching, «Lesiones Deportivas,» Universidad de Antioquia, vol. 20, nº 2, pp. 167 - 177, 2007.
- [2] G. Garrick y R. Requa, «The epidemiology of foot and ankle injury in sports.,» *Clin Sports Med*, nº 7, pp. 29 - 36, 1988.
- [3] Williams y Wilkins, Diccionario Medico Stedman, Baltimore, 1990.
- [4] J. López Chicharro y A. Fernández Vaquero, Fisiología del ejercicio,, Madrid: Médica Panamericana, 2001.
- [5] J. M H, «Caracterizacion digital de biomecánica de los gestos para la disciplina del Taekwondo.,» Bogotá, Universidad Manuela Beltran, 2013.
- [6] J. Sánchez Lacuesta, «Biomecánica de la marcha humana normal y patológica.,» 1993.
- [7] R. Lystad, H. Pollard y P. Graham, «Epidemiology of injuries in competition Taekwondo: A meta-analysis of observational studies,» *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2008.
- [8] Kukiwon, The manual of Taekwondo., Seoul, Korea: Korea Taekwondo Association, 1995.
- [9] E. R. Serina y D. K. Lieu, «Toracic injury potential of basic competition Taekwondo Kicks.,» *Journal Biomechanics*, 1991, pp. 951-960.
- [10] M. Falcó Pérez, «Estudio sobre parámetros mecánicos y distancia de golpeo de bandal chagui de Taekwondo.,» Valencia - España, 2009.
- [11] A. van der Zijden, B. Groen, E. Tanck, B. Nienhuis, N. Verdonshot y V. Weerdesteyn, «Can martial arts techniques reduce falls everity? An in vivo study offemoral,» *Journal of Biomechanics*, 2012.
- [12] R. A. Española., «Efectividad.,» *En Diccionario de la lengua española*, 2001.
- [13] B. H. Ahn , «Kinematic and kinetic analysis of Taekwondo kicking motions unpublished,» *Master's Thesis Purdue University*, 1985.
- [14] I. S. Hwang, Analysis of the kicking leg in Taekwondo. In: Terauds J, Gowitzke B, Holt L, editors. *Biomechanics in sports III & IV; Proceedings of ISBS; Del MAR;CA, Academic Publishers*, 1987.

- [15] S. Wohlin, A biomechanical description of the Taekwondo turning hooks kick., Unpublished Master's Thesis, Montana State University, 1989.
- [16] C. A. Diaz, A. Torres, J. I. Ramirez, L. F. Garcia y N. Alvarez, «Descrpción de un sistema para la medicion de las presiones plantares por medio del procesamiento de imagenes.,» *Revista EIA*, vol. Fase I, pp. 43 - 56, 2006.
- [17] F. Leopoldo, F. Yabar, R. García, C. Córdor y E. C. Villavicencio, «Estudio para el diseño de un Sistema Baropodométrico Electrónico,» *Universidad Tecnologica del Peru*, 2001.
- [18] B. Luigi y P. Willi , «Un análisis biomecánico de la patada descendente modifi cada de Taekwondo.,» *Revista de Artes Marciales Asiáticas*, pp. 33 - 37, 2007.
- [19] J. Gorgues, «Podoscopio Clasico,» *Farmacia Practica*, vol. 27, nº 8, 2008.
- [20] Thibordee, S., & Prasartwuth, O. (2014). Effectiveness of roundhouse kick in elite Taekwondo athletes. *Journal of Electromyography and Kinesiology : Official Journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 24(3), 353–8. <http://doi.org/10.1016/j.jelekin.2014.02.002>
- [21] Phillipson A, Dhar S, Linge K, McCabe CH, Klenerman L. Forefoot arthroplasty and changes in plantar foot pressures. *Foot Ankle* 1994; 15,11: 595-598.
- [22] J. Cooper y M. Adrian, «Biomechanics of human movement.,» 1995.
- [23] J. M H, «Caracterizacion digital de biomecánica de los gestos para la disciplina del Taekwondo.,» Bogotá, Universidad Manuela Beltran, 2013.
- [24] N. Margaretta y V. H. Franquel, *Biomecánica básica del sistema músculo-esquelético.*, Madrid: Mc Graw Hill International, 2004.
- [25] N. Zheng y S. W. Barrentine, «Biomechanics and motion analysis applied to sports.,» *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, 2000, pp. 309-322.
- [26] N. Ozkaya, *Fundamentals of Biomechanics*, Springer-Verlag, 1999.
- [27] Y. J. Tsai, G. H. Gu, C. J. Lee, C. F. Huang y C. L. Tsai, «The biomechanical analysis of the Taekwondo front leg axe-kick.,» Beijing - China, *Proceedings of XXIII International Symposium on Biomechanics in Sports*, 2005, pp. 437-440.
- [28] H. Choi Hong, «Taekwondo. Primera edicion en castellano,» Argentina, *International Taekwondo Federation.*, 1996, pp. 15, 747.

- [29] Y. J. Tsai, «Biomechanics analysis of Taekwondo axe kick.,» de *Tesis de Maestría*, Taiwan, National Taiwan Normal University, 1999.
- [30] M. F. Coral, «Estudio sobre los parámetros mecánicos y distancia de golpeo de bandal chagui de Taekwondo.,» de *Trabajo de grado Doctoral*, Valencia- España, Universidad de Valencia, 2009.
- [31] «Universidad Politecnica de Valencia,» 2006. [En línea]. Available: <http://www.ergonautas.upv.es/metodos/biomecnica/biomecnica-ayuda.php>.
- [32] W. T. Dempster, «Space requirements of the seated operator.,» Ohio, Wright-Patterson Air Force Base, 1955, pp. 87-892.
- [33] C. E. Clauser, J. T. Mcconville y J. W. Young, *Weight, volume and center of mass of segments of the human body.*, Ohio: Wright-Patterson Air Force Base, 1969.
- [34] A. Torres, J. Manrique y S. Ardila, *Caracterizacion digital de la biomecnica del gesto de la patada en la disciplina de Taekwondo.*, Universidad Manuela Beltrán, 2014.