



"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"

**UNIVERSIDAD DE SONORA**  
**DIVISIÓN DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES**  
**DEPARTAMENTO DE FÍSICA**

**Metodología de bajo costo para el análisis de la  
Biomecánica en las artes marciales, usando  
videografía y acelerómetros**

**TESIS**

**Que para obtener el grado de:  
Licenciada en FÍSICA**

**PRESENTA**

**Jaqueline Guadalupe Vejar Robles**

**Director de Tesis: Dr. Roberto Pedro Duarte Zamorano**

**Co-Director: Dr. Arturo Vega González**

**Hermosillo, Sonora**

**Enero de 2017**

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess



## Dedicatoria

A todas aquellas personas que me brindaron su mano sin necesidad de hacerlo, alimentaron mi persona de manera física y espiritual, escucharon mi pesar y compartieron el suyo enseñándome lo valioso e importante de ayudar sin esperar nada a cambio, a esa persona a quien no pude agradecer en persona el ponerme en mi camino a Doña Carolina Villalobos y Don Jesús Irazaba, por abrirme la puerta de su casa para poder realizar mis estudios con tranquilidad y cuidarme y aconsejarme en todo momento cuando estuve lejos de Casa Gracias infinitas.

A mis Padres Rita Robles y Carlos Véjar Miranda, por su apoyo, seguridad, comprensión y paciencia en todo momento. A mis hermanos Carlos Martín, José Alonso y Víctor Manuel, por haberme puesto el ejemplo de culminar estudios profesionales, compartir experiencias y conocimientos desde el kínder hasta que les fue posible ya sea corrigiéndome, burlándose, regañándome, encargándose de que tuviera el material adecuado para el aprendizaje o enseñándome algo nuevo siempre.

A mi novio Víctor Manuel Bueras Esquer, por su apoyo, comprensión y paciencia en mis ausencias y las que vendrán.

A los chicos de CAIDIV, por enseñarme a luchar por mi sueño, sin quejarme por más adversa que se vea la situación e inspirándome con su ejemplo de perseverancia.



## Agradecimientos

A Dios por permitir superar cada obstáculo en el camino para la elaboración de esta metodología, poniéndome en las manos de buenas personas.

A Mis asesores y Amigos

Roberto Pedro Duarte Zamorano, por no dejar inconclusa aquella pregunta que surgió en una clase de Mecánica II, por su dedicación, entrega, paciencia para que la pregunta fuese siendo contestada a lo largo del desarrollo de este trabajo y por todas las enseñanzas a lo largo de la carrera MUCHAS GRACIAS.

Arturo Vega Gonzales, por su voto de confianza, recibimiento en su grupo de trabajo, apoyo, correcciones y enseñanzas para que mi pregunta fuese y siga siendo aclarada, GRACIAS.

A mi familia:

A mi abuela ñ Adelina Robles Zamora por su regaño enojo pero aun así me apoyó en los viajes de estudios que le fueron posible, a mi Abuelo Jesús Flores Lopez, por su apoyo en las actividades para mis viajes de estudio gracias, a mis tíos Eva Robles y Enrique Rivera por su apoyo y paciencia.

A mis primos Teresa Rivera, Sylvia Rivera, Aaron Rivera, Sarahí Córdova y Leobardo Méndez por compartir sus conocimientos para la elaboración de este trabajo.

A mis cuñadas Martha Díaz y Reyna Urquijo por ayudarme en lo que les fue posible gracias.

A mis sobrinos José Alonso y Judith Alejandra Véjar Díaz, Jorge Adián y Jhanyre Azaharel Véjar Mendoza, Eduardo Alejandro y Ángel Tadeo Nevarez Rivera, Valeria Sarahí y Daniel Enrique Rivera Córdova por los momentos en shock con sus preguntas, corajes por sus travesuras y apuros que me hicieron pasar durante la elaboración de este trabajo, espero que algún día lleguen a sentir un poquito de lo que me hicieron sentir durante la elaboración de este trabajo, Gracias.

A mis amigos

De la licenciatura: Lupita López Por apoyar siempre para el momento de tener el libro necesario para cada día de estudio, a Luis Gálvez, Erika Molina, Misael Mirazo, Hanz Araujo, Blanca Rodríguez, Alan Alcántar , Yesenia Silva, Palmira Lares y Sofía Echeverría; por sus momentos de estudio, risas, angustia, relax, intercambio de opiniones porras para este trabajo Gracias.

A mis amigos hechos en esta travesía.

Sergio Parra por su apoyo, paciencia, regaños y estar al pie del cañón en las mediciones mil Gracias. A mis cómplices Sylvia Ramírez y Anna por sus porras, a Gaby e Iliana por sus ánimos. A mis compañeros de laboratorio por acogerme y ayudarme en todo lo que les fue posible, Alex, Magda, Maricruz, Aaron y la muchacha Ruth. A todos los chicos de Verano 2013 y 2015 así como a los sujetos de prueba de las escuelas de artes marciales en Hermosillo y en León gracias.

## Tabla de contenido

Capítulo 1. Presentación.....	3
Objetivo General.....	3
Objetivos Particulares.....	4
Justificación.....	4
Capítulo 2. Antecedentes.....	7
Historia de las artes marciales.....	7
Algunos aspectos teóricos de la biomecánica.....	9
¿Qué es la Biomecánica?.....	9
Postura que se debe tomar para ejecutar los golpes en las artes marciales.....	12
Visión Artificial.....	14
Acelerómetros.....	15
La física en el movimiento de un cuerpo.....	15
Capítulo 3. Arreglo experimental.....	21
Metodología del experimento.....	21
Primera Etapa.....	22
Segunda Etapa.....	24
Tercera Etapa.....	28
Uso de acelerómetros.....	37
Elaboración de protocolo de grabación.....	38
Capítulo 4. Resultados.....	41
Resultados usando métodos videográficos.....	41
Ejecución del golpe Tajo Vertical de arriba.....	41

Ejecución del golpe Tajo Vertical de abajo hacia arriba .....	44
Ejecución del golpe Tajo Horizontal.....	46
Aplicación de la metodología propuesta. ....	49
Aceleración a partir de datos videográficos .....	49
Golpe de puño al centro. Desplazamiento. ....	52
Golpe de puño al centro. Velocidad.....	55
Golpe de puño al centro. Aceleración.....	58
Capítulo 5. Conclusiones y perspectivas.....	63
Discusión. ....	63
Conclusiones. ....	64
Perspectivas y trabajo futuro.....	65
ANEXOS .....	67
Anexo 1. Artículo en Memorias en Extenso del Congreso de Biomecánica.....	67
Anexo 2. ¿Qué es Tracker? .....	71
Seguimiento de los marcadores con Tracker:.....	71
Modelación: .....	71
Video:.....	71
Generación de datos y análisis:.....	72
Anexo 3. Información de los marcadores empleados en la fase 3. ....	73
Anexo 4. Características del Acelerómetro utilizado en el experimento.....	77
Características .....	77
Bibliografía. ....	79

## Capítulo 1. Presentación.

Considerando que el trabajo realizado en el campo de la biomecánica, desde el punto de vista de la física, es escaso, y aunado al interés personal por comprender la dinámica de los movimientos de las artes marciales, se busca entender los principios básicos de la biomecánica presente en los movimientos del cuerpo humano.

En el presente trabajo se presenta una descripción de los golpes de artes marciales en particular del golpe de tajo horizontal y vertical, así como el golpe de puño al centro, tomando como base la posición de las articulaciones durante la duración del movimiento, obtenida mediante el uso de cámaras de video de uso casero, junto al empleo de software para el análisis de video; así como la aceleración obtenida mediante el uso de acelerómetros conectados a una computadora mediante una interfaz de LabView y su correspondiente programación.

Los datos así obtenidos tomaron como base el uso de los tres planos corporales: sagital, frontal y horizontal, así como del espacio tridimensional en el cual se realiza el movimiento, por lo que el estudio de los segmentos corporales involucrados en el movimiento, aquí presentado, hace referencia a dichos planos en el espacio 3D.

### Objetivo General.

Proponer una metodología para el análisis de la Biomecánica en las artes marciales, considerando un enfoque multidisciplinario, un análisis de la mecánica del cuerpo humano en los golpes de artes marciales para caracterizarlos empleando una metodología de bajo costo que pueda ser accesible para cualquier escuela o centro deportivo, y con ello buscar una mejor efectividad en los golpes, disminuir lesiones e intentar tratamientos terapéuticos con base en los resultados obtenidos.

## Objetivos Particulares.

- Realizar, considerando un enfoque multidisciplinario, un análisis de la mecánica del cuerpo humano en los golpes de artes marciales para caracterizarlos empleando una metodología de bajo costo que pueda ser accesible para cualquier escuela o centro deportivo, y con ello buscar una mejor efectividad en los golpes, disminuir lesiones e intentar tratamientos terapéuticos con base en los resultados obtenidos.
- Hacer uso de acelerómetros de bajo costo, conectados mediante una interfaz y con el software adecuado para extraer la información relacionada con la aceleración en tres ejes perpendiculares entre sí.
- Analizar e interpretar la información obtenida por ambos métodos.
- Caracterizar los golpes de artes marciales

## Justificación.

La práctica de deportes de contacto, en este caso artes marciales, siempre se ha considerado peligrosa por las lesiones que se pueden generar durante un combate; sin embargo, nunca se piensa que antes de un combate los practicantes son sometidos a un duro entrenamiento con rutinas, que si bien se han ido transmitiendo de generación en generación, actualmente se ha comprobado que los practicantes presentan lesiones (desgaste en ligamentos, o problemas por alguna lesión sufrida) ocurridas en dichos entrenamientos.

En otros casos, personas que practican artes marciales por órdenes médicas (en las que el tratamiento consiste en que realicen actividad deportiva) presentan mejoras en un lapso aproximado a dos meses, sorprendiendo al médico al enterarse que la actividad deportiva elegida es algún tipo arte marcial, la cual realiza siguiendo la rutina normal del instructor (maestro). Este hecho plantea una inquietud válida: si el practicar artes marciales como cualquier persona normal reduce el problema, ¿qué sucedería si se estudia el arte marcial para atacar directamente el problema?

¿Se podría ver la posibilidad, al analizar las artes marciales, de disminuir la lesiones y dar pie a la creación de terapias (para personas que sí puedan desarrollar una actividad, y para las que presenten una discapacidad motriz que impida un movimiento más fuerte), tratamientos ortopédicos y rutinas que mejoren el rendimiento de los atletas para garantizar una buena representación en las competencias, de manera natural y segura?

En este trabajo se está considerando que el estudio de la mecánica en los golpes de artes marciales puede responder a varios de los cuestionamientos anteriores, abriendo las posibilidades de esta práctica deportiva al campo de la prevención y rehabilitación.

Para lograr lo anterior, en el capítulo 2 se presente un breve resumen de la historia y aspectos relacionados con las artes marciales, como el nacimiento de las artes marciales en las diferentes regiones de oriente, así como la posición de los segmentos corporales al momento de ejecutar las técnicas y las principales zonas de manos y pies con las cuales se golpea, mientras que en el capítulo 3 presentamos el procedimiento seguido para la obtención de la información considerada relevante para nuestro estudio, por ejemplo el montaje de los diferentes arreglos experimentales utilizados; en el capítulo 4 se muestran algunos de los resultados obtenidos mediante la utilización del arreglo de las videocámaras, la efectividad de la colocación de ellas y de los marcadores en las articulaciones a utilizar. Finalmente en el capítulo 5 se presentan las discusiones, conclusiones y perspectiva del presente trabajo.

Se han agregado algunos apéndices que consideramos útiles para el mejor aprovechamiento de lo aquí presentado, además de incluir en el primero de los apéndices el artículo que se desprendió del presente trabajo y que forma parte de las Memorias en Extenso del VII Congreso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica, realizado en Bucaramanga Colombia en Octubre de 2016.



## Capítulo 2. Antecedentes.

Lo primero que las personas piensan cuando escuchan Artes Marciales es el combate cuerpo a cuerpo; sin embargo, para poder llegar a combatir los artistas marciales debe aprender las llamadas técnicas de las artes marciales creadas alrededor del año 2000 a.C. es decir, series de movimientos específicos que se han ido transmitiendo de generación en generación y que se ha visto que en ocasiones corrigen posturas y enfermedades motoras. Son esos movimientos los que nos interesa estudiar con la metodología que aquí se presenta, y la importancia de estudiarlos radica en querer aumentar el rendimiento de los atletas y mejorar la calidad de vida por medio de terapias que se pueden crear, conociendo el patrón de movimiento de las personas que no pueden practicar deporte.

### Historia de las artes marciales

Los diferentes estilos de artes marciales que dieron origen a los actuales estilos son los descritos en la tabla 2.1, para ello fueron modificados según se necesitara desarrollar velocidad o fuerza, (este hecho se da principalmente el Japón), sin embargo la modificación de los estilos fueron extendiéndose y, como resultado de dicho suceso, el kempo (que era una especie de boxeo) llega de China a Okinawa, isla situada entre la China y el Japón, donde de forma autóctona se habían desarrollado unas formas de lucha muy primitivas. En la mezcla de ambas formas de lucha surgió el denominado okinawa-te, verdadero antecesor del karate. En 1960 el karate se extendió por todo el mundo.

El karate es la disciplina que inspiró la realización del presente trabajo y emplea una gran variedad de técnicas de golpes con manos y pies, el cual desembocó también en varios estilos, según se da más importancia a la fuerza o a la velocidad. Asimismo, cabe mencionar que hay diferencias entre el karate que se aplica en un contexto puramente deportivo y el karate que se dedica a la autodefensa y técnicas de combate.

<b>Nombre</b>	<b>Fundador</b>	<b>Procedencia</b>	<b>Características</b>
SHOTO-KAN	FUNAKOSHI	Tokio	Predominio de la fuerza y de las posiciones bajas con los pies separados. Se emplea mucho la cadera y se utilizan muchas Katas (sucesión de movimientos encadenados).
GOJU-RYU	CHOJUN MJYOGJ.	Okinawa y Kioto	Gran importancia a la sensación y a los movimientos lentos, valorándose tanto los golpes duros como los suaves.
WADO-RYU	HIRONORI OTSUKA	Tokio	Estilo basado en la velocidad, y en posiciones muy altas.
SHITO-RYU	MABUNI	Osaka	Es un estilo basado en la velocidad, la rapidez de acciones y la fuerza.
KYOKUSHINKAI	MASUTATSU OYAMA	Corea. (Se desarrolla fundamentalmente en Tokio)	En competición, se permiten las patadas al cuerpo y, a veces, a la cabeza, al igual que los golpes con el puño al cuerpo, aunque no los puñetazos. En el estilo del Kyokushinkai se concede más importancia a la ruptura de maderas mediante golpes

**Tabla 2.1. Principales estilos de artes marciales<sup>1</sup>.**

## Algunos aspectos teóricos de la biomecánica.

Muchos de los conocimientos generados por la biomecánica se basan en lo que se conoce como modelos biomecánicos; estos modelos permiten realizar predicciones sobre el comportamiento, resistencia, fatiga y otros aspectos de diferentes partes del cuerpo cuando están sometidos a unas condiciones determinadas.

### ¿Qué es la Biomecánica?

Es el estudio de la mecánica de medios continuos de los sistemas biológicos (es decir, estudio de cargas, movimiento, tensión, etc. en cuerpos sólidos y fluidos) así como los efectos mecánicos que provoca en el movimiento, tamaño, forma y estructura del cuerpo desde un nivel molecular hasta un nivel celular.

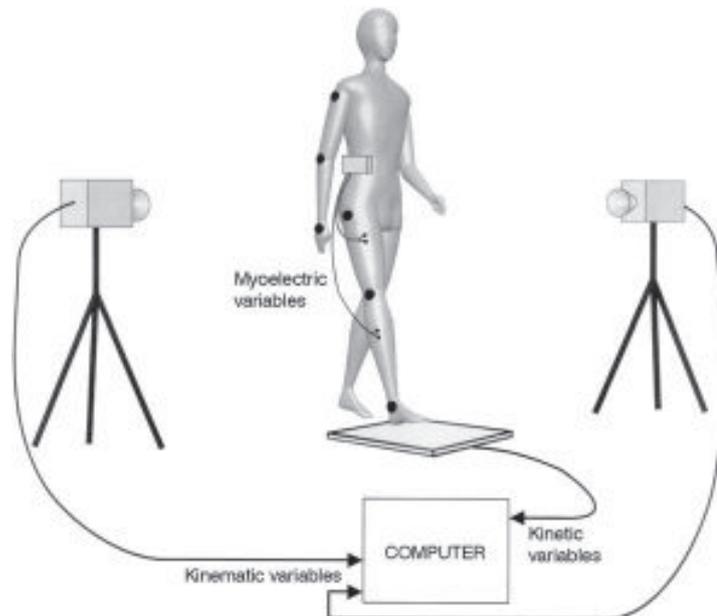
La Biomecánica está presente en diversos ámbitos, aunque tres de ellos son los más destacados en la actualidad:

- **Biomecánica Médica**, analiza las patologías que aquejan al hombre para generar soluciones capaces de evaluarlas, repararlas o paliarlas.
- **Biomecánica Ocupacional**, estudia la interacción del cuerpo humano con los elementos con que se relaciona en diversos ámbitos (en el trabajo, en casa, en la conducción de automóviles, en el manejo de herramientas, etc.) para adaptarlos a sus necesidades y capacidades. En este ámbito se relaciona con otra disciplina como es la ergonomía (la cual busca adaptar las herramientas al cuerpo humano). Últimamente se ha hecho popular y se ha adoptado la Biomecánica ocupacional que proporciona las bases y las herramientas para reunir y evaluar los procesos biomecánicos en lo que se refiera a la actual evolución de las industrias, con énfasis en la mejora de la eficiencia general de trabajo y la prevención de lesiones relacionadas con el trabajo, esta está íntimamente relacionada con la ingeniería médica y de información de diversas fuentes y ofrece un tratamiento coherente de los principios que subyacen a la biomecánica bien diseñada y ergonomía de trabajo que es ciencia que se encarga de adaptar el cuerpo humano a las tareas y las herramientas de trabajo.

- **Biomecánica Deportiva**, que analiza la práctica deportiva para mejorar su rendimiento, desarrollar técnicas de entrenamiento y diseñar complementos, materiales y equipamiento de alto desempeño.

En este trabajo se tocaron aspectos relacionados con la primera y la tercera ramas recién mencionadas.

Los estudios biomecánicos se sirven de distintas técnicas para lograr sus objetivos. Una de las más usuales es la fotometría es decir el análisis de movimientos en 3D basado en tecnología de vídeo digital. Una vez procesadas las imágenes capturadas, la aplicación proporciona información acerca del movimiento tridimensional de las personas o de los objetos en el espacio.



**Figura 2.1. Un arreglo básico para el análisis de Biomecánica.**

El realizar un montaje como el de la figura 2.1, con cámaras específicamente bien colocadas, tiene la finalidad de poder tomar los planos espaciales del cuerpo a estudiar, en nuestro caso los planos a estudiar son los del cuerpo humano los cuales se indican en la figura 2.2, y sirven para realizar una descripción estándar de los movimientos ejecutados durante el golpe.

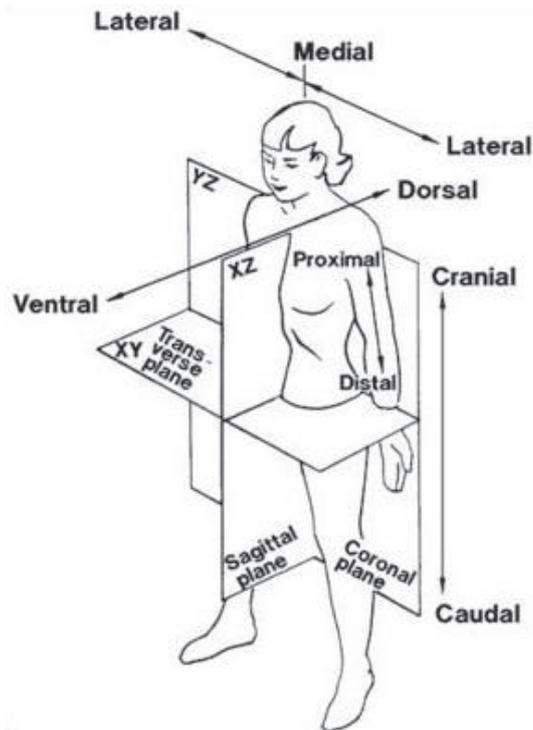


Figura 2.2. Ejes espaciales del cuerpo humano

Una descripción de los ejes de la figura 2.2 se da a continuación.

- Los *planos frontales* o *coronales* se orientan de manera vertical, de forma tal que dividen al cuerpo en anterior y posterior.
- Los *planos sagitales*, al igual que el plano coronal, se orientan verticalmente; sin embargo, son perpendiculares a los planos coronales, y de esta forma dividen del cuerpo en zonas derecha e izquierda. Al plano que discurre centralmente en el cuerpo y a su vez forma en igual medida a las zonas izquierda y derecha se le llama *plano medio sagital*.
- Los *planos horizontales*, como su nombre indica, se orientan horizontalmente, a diferencia de los otros dos planos. De esta manera, dividen el cuerpo en zona inferior y superior.
- Los *planos transversos*, *transversales* o *axiales* son relativos a una estructura en particular, y son perpendiculares al eje longitudinal de dicha estructura. Si la

estructura es el cuerpo en su conjunto, son equivalentes a los planos horizontales. Definen las zonas proximal y distal.

## Postura que se debe tomar para ejecutar los golpes en las artes marciales

En las artes marciales cada técnica tiene su postura inicial, con el fin de poder lograr un óptimo ataque así como mantener el equilibrio para dominar la situación de ataque y contra ataque.

La posición de los pies determina distintas posturas tradicionales como lo son la posición de caballo, posición de caballo de frente, es importante hacer notar que nuestro protocolo contempla la posición de caballo de frente con guardia en medio como se indica en el capítulo siguiente.

### Posición de la mano para golpear con el puño

El puño se mantiene cerrado (Figura 2.3a), el dedo pulgar se dobla sobre el índice y el dedo medio (Figura 2.3b), el contacto se debe realizar con los nudillos de los dedos índice y medio (Figura 2.3c), en el momento de producirse el contacto teórico, los nudillos, el codo y la muñeca estarán en línea recta. Es importante mantener el puño bien apretado, puesto que de esta manera adquiere firmeza la muñeca y se reducen los riesgos de una posible lesión<sup>1</sup>.

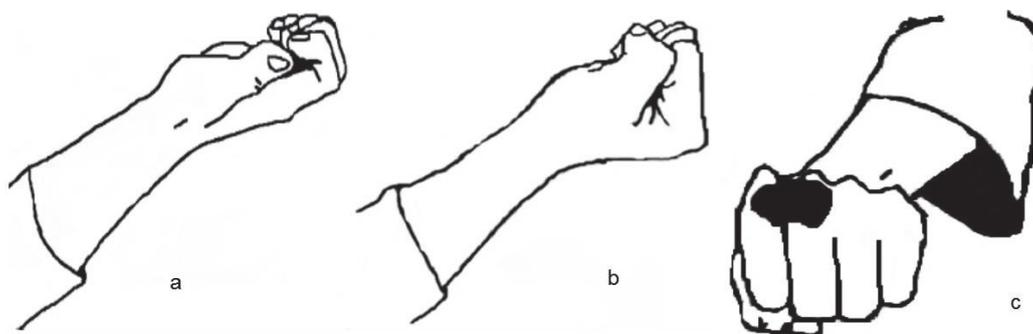
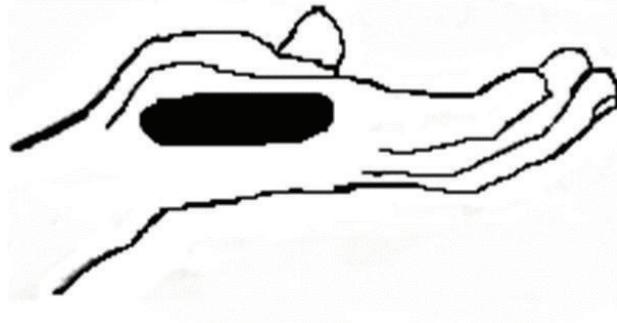


Figura 2.3. Esquemas de como colocar la mano para e golpe de puño<sup>1</sup>.

### **Con el canto o golpe de tajo**

Es un golpe muy utilizado para lograr bloqueos y ataques a la región abdominal y a la cara del adversario. Para prevenir lesiones en la mano, es conveniente alinear el dedo índice con el resto de dedos de la mano (ver Figura 2.4). No obstante, es un golpe que no está permitido utilizarlo en competiciones.



**Figura 2.4. Esquemas de como colocar la mano para el golpe de tajo<sup>1</sup>.**

### **El golpe de puño de frente**

Se trata de una técnica muy rápida y por ello útil en el contra ataque, para ejecutarla no es estrictamente necesario dar algún paso con los pies.

En la figura 2.5 vemos las fases de golpe de puño:

- Posición inicial (ver Figura 2.5a): El pie y la mano izquierda están adelantados respecto a las extremidades del lado contrario, la mano derecha se encuentra a la altura de la cadera derecha, con el pulgar hacia arriba.
- Desarrollo del golpe (ver Figura 2.5b): Con la muñeca firme y recta, se dirige un puñetazo al adversario a la altura del estómago o del rostro. Con un giro del antebrazo y de la muñeca, los nudillos quedan enfocados hacia arriba (ver Figura 2.5c)
- Posición final (ver Figura 2.5d): Se avanza el brazo derecho y se retrasa el izquierdo hasta llegar a la cadera de su mismo lado, con el pulgar hacia arriba. El cuerpo está ligeramente decantado hacia adelante

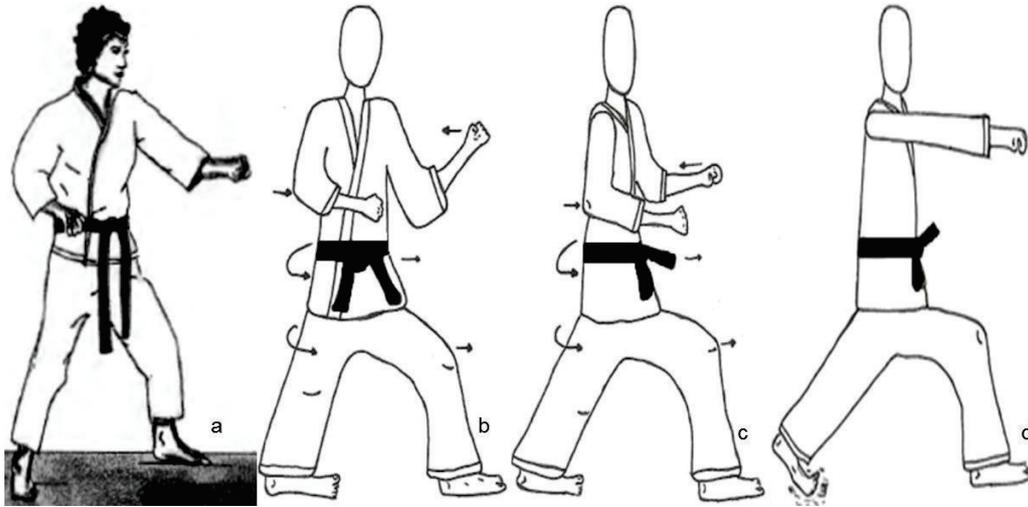


Figura 2.5. Esquema de la trayectoria del golpe de puño<sup>1</sup>.

## Visión Artificial

La visión artificial o visión por computador es una disciplina científica que incluye métodos para adquirir, procesar, analizar y comprender las imágenes del mundo real con el fin de producir información numérica o simbólica para ser tratadas por un computador.

Tal y como los humanos usamos nuestros ojos y cerebros para comprender el mundo que nos rodea, la visión por computador trata de producir el mismo efecto para que las computadoras puedan percibir y comprender una imagen o secuencia de imágenes y actuar según convenga en una determinada situación.

Esta comprensión se consigue gracias a distintos campos como la geometría, la estadística, la física y otras disciplinas.

La adquisición de los datos se consigue por varios medios como secuencias de imágenes, vistas desde varias cámaras de video o datos multidimensionales desde un escáner médico.

## Acelerómetros

Se denomina acelerómetro a cualquier instrumento destinado a medir aceleraciones. Esto no es necesariamente la misma que la aceleración de coordenadas (cambio de la velocidad del dispositivo en el espacio), sino que es el tipo de aceleración asociada con el fenómeno de peso experimentado por una masa de prueba que se encuentra en el marco de referencia del dispositivo.

En nuestro caso, el acelerómetro mide la fuerza de aceleración que experimenta el dispositivo, que corresponde a la llamada “fuerza de inercia” en un sistema de referencia no inercial.

## La física en el movimiento de un cuerpo

En el estudio del movimiento de los cuerpos, uno de los principales retos que se tiene es poder hacer la descripción del mismo de una manera inequívoca, para ello se habla del movimiento relacionándolo a un sistema de referencia que generalmente se escoge inercial.

Un sistema o marco de referencia es un conjunto de convenciones usadas por un observador para poder medir la posición y otras magnitudes físicas de un sistema físico. Y un sistema de referencia inercial es aquel en la que las Leyes de Newton son aplicables usando sólo las fuerzas reales que se ejercen unas partículas a otras, así que en un sistema de referencia inercial toda variación de la trayectoria de un cuerpo tiene que tener una fuerza real que la provoca.

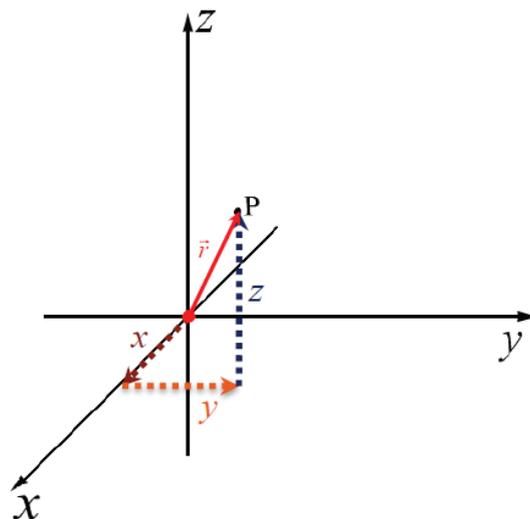
Es así como llegamos a la primera Ley de Newton que permite decir que en un sistema de referencia inercial, un cuerpo sobre el que la fuerza resultante actuante sobre él sea cero, mantiene un movimiento con velocidad constante rectilíneo uniforme) o permanece en reposo.

El estudio del movimiento puede hacerse desde dos perspectivas: cinemática y dinámica. La cinemática es la parte de la mecánica que trata del movimiento en sus condiciones de espacio y tiempo, sin tener en cuenta las causas que lo

producen; mientras que la llamada cinética es la parte de la física que estudia los sistemas estáticos o en movimiento mediante el empleo de los conceptos de longitud, tiempo y masa, es decir estudia el movimiento o lo relacionado a él.

En el estudio del movimiento de los cuerpos existen algunos conceptos importantes que necesitaremos, empezando con los de posición, distancia y desplazamiento.

- *Posición* es el punto del espacio físico a partir del cual es posible conocer dónde se encuentra geoméricamente un cuerpo en un instante dado, con relación a un punto que llamamos origen. En nuestro espacio 3D, la posición se representa como un vector  $\vec{r}$  de tres componentes:  $x$ ,  $y$  y  $z$ , tal como se muestra en la figura 2.6.



**Figura 2.6. Posición de un punto en el espacio 3D.**

- *Distancia* es la longitud de la trayectoria real que sigue el objeto. Considere el viaje del punto A al punto B en mostrado en la figura 2.7a (línea sólida), en este caso, la distancia  $s$  es una cantidad escalar (sin dirección), ya que sólo tiene magnitud y consta de un número y una unidad, correspondiente al tamaño de la línea punteada.

- *Desplazamiento* es la separación en línea recta de dos puntos en una dirección específica, por lo que el desplazamiento es una cantidad vectorial, ya que tiene magnitud, dirección y sentido, lo que se representa como un número, unidad y ángulo; de nuevo, considerando el viaje del punto A al punto B, el desplazamiento corresponde a la cantidad  $D$ .

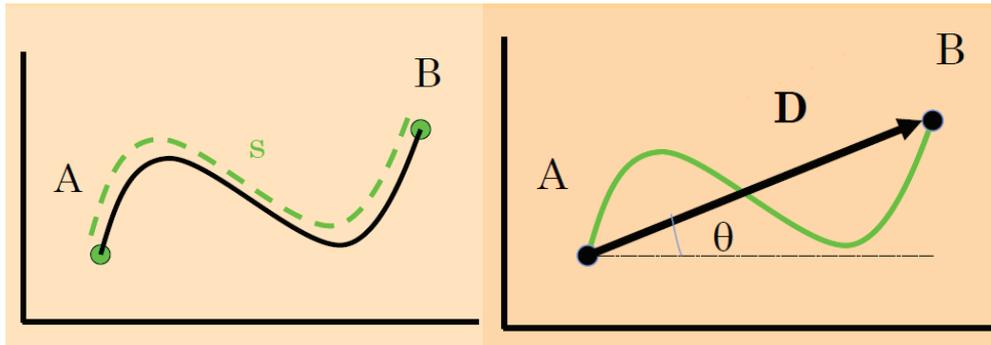


Figura 2.7. Distancia  $s$  y desplazamiento  $\vec{D}$ .

A partir de estos conceptos se construyen, usando el tiempo como una variable importante en el movimiento, la llamada rapidez y velocidad.

- La *rapidez* ( $v$ ) es la distancia recorrida por unidad de tiempo (por lo que resulta ser una cantidad escalar), a saber  $rapidez\ v = \frac{distancia}{tiempo}$ .
- La *velocidad* ( $\vec{v}$ ) es el desplazamiento por unidad de tiempo (por lo que resulta ser una cantidad vectorial), en este caso,  $velocidad\ \vec{v} = \frac{desplazamiento}{tiempo}$

Y si seguimos la misma idea, analizar el cambio de la velocidad conforme transcurre el tiempo, podemos introducir el concepto de aceleración.

- La *aceleración* ( $\vec{a}$ ) es el cambio de velocidad por unidad de tiempo (por lo que resulta ser una cantidad vectorial), por lo que podemos escribir  $\vec{a} = \frac{\vec{v}_f - \vec{v}_i}{t_f - t_i}$ .

Experimentalmente se observa que para tener un cambio en la velocidad de un cuerpo se requiere la aplicación de una fuerza neta sobre él y con ellos podemos decir que si hay aceleración entonces hay una fuerza neta aplicada, es decir

capacidad física para realizar un trabajo o un movimiento cuya ecuación fundamental es la llamada Segunda Ley de Newton:  $\vec{F} = m\vec{a}$ .

Con lo que se sientan las bases de la llamada dinámica newtoniana, y fundamento de la mecánica y del estudio del movimiento; lo anterior permite relacionar la fuerza con la aceleración, entendiendo a la aceleración como un efecto que produce la aplicación de una fuerza sobre un objeto.

A partir de lo anterior, podemos retomar las definiciones dadas para realizar una descripción del movimiento mediante las ecuaciones de la cinemática tal como se muestra en lo que sigue.

Como estamos interesados en hacer una descripción del movimiento presente en algunos de los golpes de las artes marciales usando videografía (que nos proporciona de manera directa las posiciones y, de forma indirecta, las velocidades y aceleraciones) y acelerómetros (que nos proporciona la aceleración en tiempo real, mediante el uso de la interfaz adecuada), vale la pena establecer las ecuaciones que relacionan las mediciones que realizamos, para ello procedemos de la siguiente forma.

Sabemos que podemos expresar la aceleración, a partir de su definición, de la siguiente manera

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

de donde despejamos  $d\vec{v}$  para escribir

$$d\vec{v} = \vec{a}dt$$

a continuación podemos integrar en los intervalos de  $v_i$  a  $v_f$  y de  $t_i$  a  $t_f$ , a saber

$$\int_{v_i}^{v_f} d\vec{v} = \int_{t_i}^{t_f} \vec{a}dt$$

que al evaluar la integral de la izquierda, nos lleva a

$$v_f - v_i = \int_{t_i}^{t_f} \vec{a}dt$$

De la ecuación anterior despejamos la velocidad final y, como conocemos el valor de  $v_i$  (a partir de la videografía) y la aceleración (dada por los acelerómetros) podemos escribir

$$v_f = v_i + \int_{t_i}^{t_f} \vec{a} dt \quad (2.1)$$

De donde se entiende que la velocidad inicial la definirá el protocolo de la metodología y el intervalo de tiempo sobre el que deseamos integrar será definido por el usuario basándose en su interés siempre y cuando el intervalo se considere desde que inicia el movimiento hasta que golpe.

De la misma manera la ecuación 2.1 nos permite obtener la velocidad en cualquier intervalo de tiempo.

De forma similar, sabemos que

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$$

Despejando  $d\vec{r}$  de la ecuación anterior

$$d\vec{r} = \vec{v} dt$$

e integrando en los intervalos de  $r_i$  a  $r_f$  y  $t_i$  a  $t_f$

$$\int_{r_i}^{r_f} d\vec{r} = \int_{t_i}^{t_f} \vec{v} dt$$

Al evaluar la integral de la izquierda

$$r_f - r_i = \int_{t_i}^{t_f} \vec{v} dt$$

De nueva cuenta, partiendo de los datos obtenidos con la videografía podemos conocer la posición inicial, por lo que la ecuación anterior se puede escribir como

$$r_f = r_i + \int_{t_i}^{t_f} \vec{v} dt \quad (2.2)$$

es decir, podemos tener la posición final en cualquier intervalo de tiempo a partir de conocer la posición inicial y los valores de la velocidad, dados por la ecuación (2.1).

La metodología anterior nos permite tener la posición final en cualquier intervalo de tiempo a partir de conocer la posición y velocidad iniciales (videografía) y los valores de la aceleración (acelerómetros).

## Capítulo 3. Arreglo experimental.

En una primera instancia estaremos considerando el grabar a 30 cuadros por segundo, golpes realizados con las extremidades superiores en específico el golpe de puño al frente, tajo vertical y tajo horizontal; todos los golpes se enfocaron en el rompimiento de un madero de 12x12x1, para poder simplificar el modelo físico del golpe al contemplar el movimiento de la mano para romper el madero, para ello se monta un set con dos videocámaras una en el techo y la otra en el piso montada en un tripié, no se usan marcadores ni vestimenta específica.

En una segunda parte, se contempla el análisis de movimientos de la extremidad superior dando los golpes de tajo horizontal o tajo vertical al aire se implementa un nuevo arreglo de las cámaras las cuales filman a 30, se utiliza marcadores y vestimenta específica en el miembro que da el golpe.

En una tercera parte, con la experiencia adquirida, se aumentó el número de cámaras y la velocidad de filmación a 60 cuadros por segundo, también se agregó marcadores en todas las articulaciones que intervienen en el movimiento de la técnica a estudiar, se implementó el uso de acelerómetros triaxiales solamente en muñeca y codo debido al problema de sujeción, es importante hacer mención que durante esta etapa se optó por estudiar solamente un tipo de golpe (golpe de puño recto o golpe de puño al centro).

### Metodología del experimento.

La metodología en todas las fases consistió en un arreglo con cámaras, marcadores, distintos fondos, así como el uso de distintos programas (software) para el análisis de datos, tanto licenciados como de uso libre.

## **Primera Etapa**

En un principio, y dada la curiosidad por hacer este trabajo, se les pidió ejecutar a los sujetos de prueba (en edades de 3 a 63 años), una de las siguientes técnicas de golpe de puño al centro, tajo vertical o tajo horizontal con la finalidad de romper un madero de 12x12x1 pulgadas, mientras fueron grabados con dos cámaras caseras a 30 cuadros por segundo: una de ellas grababa el plano sagital, mientras la otra grababa al plano transversal y al transponer los ejes se obtuvo el plano coronal y con ello se pudo describir el movimiento en 3D.

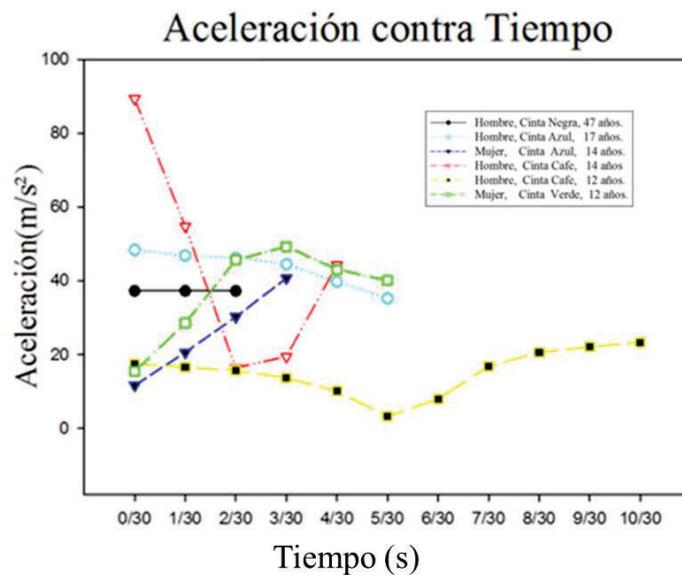
La vestimenta de los sujetos de prueba consistió en el pantalón, cinta del traje de Karateca y una camiseta, de la cual no importo color y si tenía o no manga, en esta etapa no se contó con un marcador para seguir la articulación.

Para analizar los datos se utilizaron el VideoPoint Capture (programa que sirve para editar los videos) y el VideoPoint Fundamental (programa con el cual se hizo el seguimiento de la mano), es necesario mencionar que para poder trabajar con ambos software se debe pagar una licencia, ya que es software comercial lo cual aumenta el costo en el análisis de datos.

A pesar de las dificultades descritas en el párrafo anterior y teniendo pocos puntos pudimos graficar obteniendo información interesante y aplicar métodos de derivación numérica usando un applet de Java para tener velocidad y aceleración, esto se puede ver en las gráficas en los distintos golpes analizados (ver Figura 3.1, Figura 3.2 y Figura 3.3).

De la figura 3.1 nótese como fallo al hecho de no romper el madero, se puede notar que el movimiento para ejecutar la técnica es similar por lo que se cree que el hecho de que no se rompa el madero se debe a lo curvado en el inicio del golpe, sim embargo para poder comprobar esto es necesario hacer más pruebas.



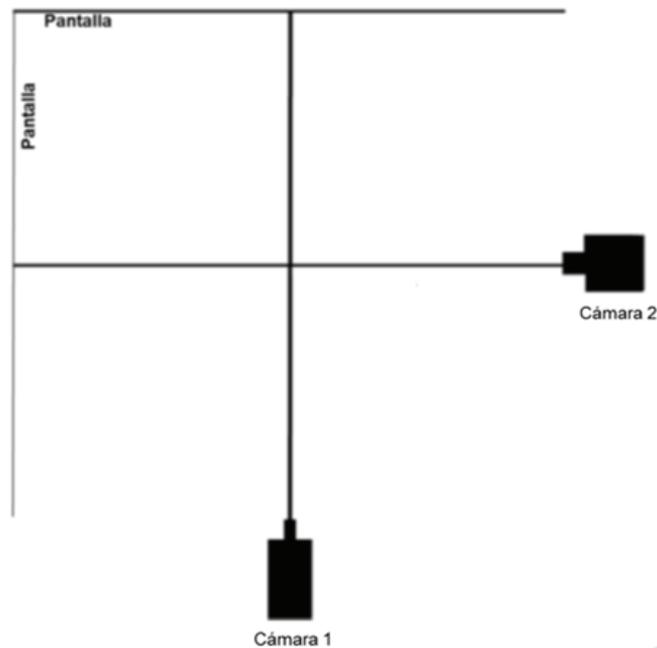


**Figura 3.3. Posición del golpe de tajo horizontal.**

En las figuras 3.2 y 3.3 se muestra que con la grabación después de puntear se puede hacer la derivada numérica para poder obtener curvas de velocidad y aceleración. Como se puede mencionó anteriormente, en esta etapa no se contó con un protocolo de grabación, sin embargo se logra graficar trayectorias con pocos cuadros por segundo.

### Segunda Etapa

Para el estudio de los movimientos en esta etapa se grabó a los practicantes con dos cámaras de video caseras a 30 cuadros por segundo, las cuales fueron colocadas a la misma altura y sobre ejes perpendiculares (ver figura 3.4), de forma que los planos en cada cámara tuvieran un eje coincidente (el eje y); para ello una de las cámaras grabó el plano sagital y la otra el plano coronal, de los golpes elegidos por los sujetos de prueba en esta ocasión fueron golpe de puño al centro, tajo vertical hacia arriba, tajo vertical hacia abajo y tajo horizontal, es de importancia señalar que los golpes en esta vez se hicieron al aire.



**Figura 3.4. Configuración de las cámaras.**

La vestimenta utilizada por los sujetos de prueba fue el pantalón del traje de karateca sin cinta, se les pidió a los sujetos de prueba utilizar camiseta lo más ajustada al cuerpo y de preferencia sin manga.

Para esta filmación utilizamos marcadores en el hombro, codo y muñeca del miembro dominante (se puede ver un ejemplo de los marcadores en las figura 3.5 y 3.6), los cuales fueron etiquetas rectangulares 2.5X0.5cm de color naranja fluorescente y amarillo fluorescente, también se utilizó una etiqueta circular de 0.6 cm de diámetro color verde fluorescente, ambos tipos de etiquetas presentaban dificultades al momento de analizar los videos, pues se perdían en los distintos tonos de piel aparte la irritaba cuando eran retirados, en el software donde se analizaba el video se apreciaba una estela dejada por las etiquetas, las cuales también se perdían según el fondo del set de grabación o por la iluminación; esto se puede ver en la figura 3.5, donde se muestra una prueba de etiquetas rectangulares color anaranjado fluorescente, en piel blanca con fondo azul.



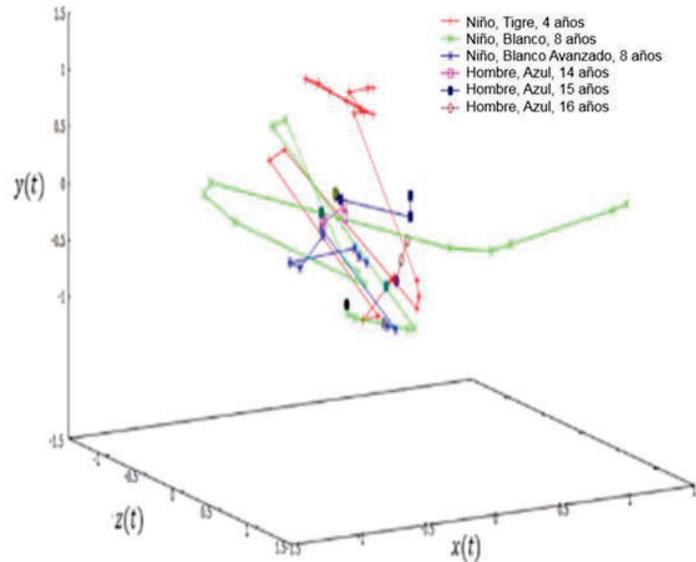
**Figura 3.5. Prueba de Fondo y etiquetas como marcadores.**

Otro marcador que probamos fue un sistema de tres focos tipo arroz blancos alimentados con una pila de 9 volt, todos unidos por un cable, la dificultad que presenta es la misma estela dejada por las etiquetas solo que más intensa a lo largo de la trayectoria, y por ser todos los marcadores del mismo color se transponen sus haces provocando que el seguimiento de la articulación se dificulte para la vista retardando el análisis del video, provocando excitación en la vista y esto repercute en que no se detecte si el foco se apaga apagados; por otra partes la sujeción de estos marcadores provoca molestias al sujeto de prueba ya que deben sujetarse con un poco de masking tape, la cual al igual que las etiquetas irrita la piel al quitarla, este arreglo se puede ver en la figura 3.6, en esta figura se aprecia el plano frontal o transversal del practicante y un eje coordenado trazado en la pared dicho eje está caracterizado y tiene la finalidad de poder ayudar a calibrar el software para el análisis de datos.



**Figura 3.6. Utilización focos como marcadores, primeras pruebas en un Dojo y Fondo azul.**

Los videos al igual que en la primer fase fueron editados con el programa VideoPoint Capture™, y después fueron analizados usando VideoPoint Physics Fundamentals™ esta vez se pudo obtener la trayectoria en 3D, en todas las zonas donde se colocaron marcadores, la figura 3.7 muestra la trayectoria de codo al momento de realizar el golpe de tajo hacia arriba para obtener las posiciones en cada golpe; esto fue posible porque a pesar de tener pocos puntos por las limitaciones de las cámaras se empatar los ejes Y para graficar en 3D (ver figura 3.7).



**Figura 3.7. Gráficas en 3D.**

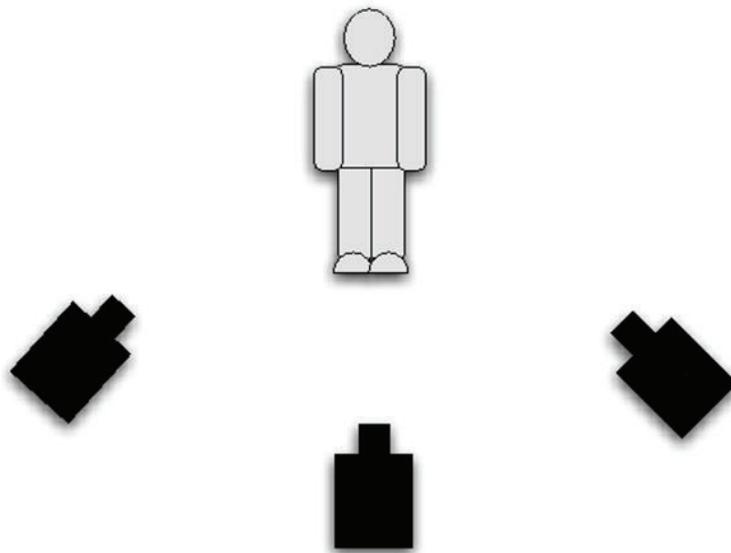
En esta fase al igual que en la primera solo se les dejó hacer el movimiento un máximo de 5 veces, esto porque a pesar de que el golpe era realizado al aire, es importante hacer mención que las cámaras imponen y por ello los sujetos de prueba suelen tener nervios lo cual impiden un óptimo rendimiento cuando ejecutan las técnicas. La mayoría de los sujetos de prueba grabaron en tres golpes.

### **Tercera Etapa**

Después del trabajo hecho en las etapas anteriores, se tuvo la oportunidad de cambiar el arreglo de dos cámaras a tres cámaras marca SONY HANDICAM modelo HDR-XR260 de 8.9 megapíxeles, configuradas a 60 cuadros por segundo y colocadas como indica el la figura 3.8 con el objetivo de tomar los tres planos reales del cuerpo humano es decir el Plano Sagital, Plano Coronal y Plano Frontal.

Se ve la necesidad de colocar marcadores en todo el cuerpo debido a que aun cuando el golpe es dado por la mano, es necesario coordinar varias articulaciones de todo el cuerpo, pero también es sugerida por el Dr. Arturo Vega González (de la Universidad de Guanajuato) la implementación del uso de acelerómetro en las mismas articulaciones donde son colocados los marcadores.

Los marcadores que se probaron en esta ocasión, así como la combinación de etiquetas, y las dificultades que se presentaron, se describen en el Anexo 3, al final de este trabajo.



**Figura 3.8. Las videocámaras se configuraron para cubrir un mínimo de dos planos ortogonales u obtener información para una posible reconstrucción en 3D.**



**Figura 3.9. Prueba con LED's rojos encendidos y con iluminación nula.**

En esta etapa, y dado que lo que se quiere establecer es un método de bajo costo para el análisis y caracterización de las artes marciales, se decidió que solamente se analizará el golpe de puño al centro.

Otro problema que fue necesario resolver, es la manera de sujetar los distintos tipos de marcadores, por ejemplo las etiquetas contaban con un pegamento de fábrica, el cual cuando eran despegados de la piel la irritaba, los LED's normales y jumbos presentaban la dificultad de tenerlos alimentados por una batería de reloj que debía cambiarse constantemente generando un gran costo y pegaban al cuerpo con masking tape generando el mismo daño que las etiquetas, también se utilizó velcro negro de 2.5 cm de ancho para crear arneses donde se pegaban las pelotitas de unicel, estas tiras del arnés se enredaban y hacían tardada las pruebas; a su vez los acelerómetros fueron sujetos con vendas blancas, lo cual comprimía el musculo afectando el rendimiento del golpe.

Es entonces, cuando se decidió buscar un método de sujeción utilizando muñequeras, coderas, cinturón negro, rodilleras, tobilleras, se diseñó un arnés para pecho y hombros y cinta doble cara (para el caso de los metatarsos, cabeza y primera falange), tal como se puede ver en la figura 3.10.



**Figura 3.10. Sujeto de prueba con los marcadores colocados en los puntos descritos en el texto.**

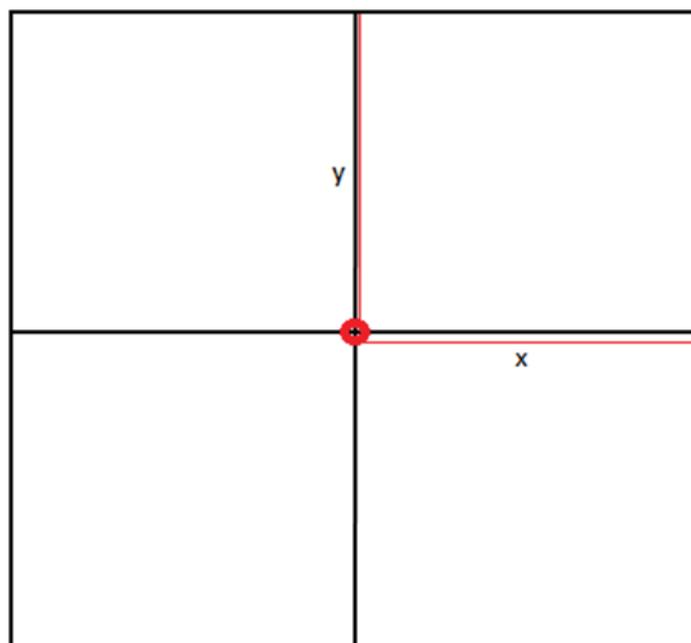
También en la figura 3.10 se pueden ver los marcadores colocados en las articulaciones descritas a continuación.

- Hombro (1) por cada lado en la articulación acromio-clavicular.
- Codos (2) por cada en epitroclea y dos en cada pico del olecranon.
- Muñeca (3) encada una 2 en cada apófisis estiloides de radio y cubito y 1 entre los apófisis estiloides.

- Un marcador en el Pecho.
- Cadera en trocantes femoral lado izquierdo y lado derecho.
- Un marcador en cada fémur.
- Un marcador en epicóndilo femoral externo y 1 episodio femorales interno, (que es correcto cóndilo o epicóndilo) en ambas rodillas.
- Un marcador en la cabeza del peroné en ambas piernas.
- Dos marcadores en cada Tobillo maléolo externo e interno.
- Un marcador en cada Talón sobre el calcáneo.
- Un marcador en cada metatarso.
- Primer Falange (1) por cada lado.

La vestimenta de los sujetos de prueba se encontró que debía ser color negro, ligera y lo más ajustada posible al cuerpo, y la camiseta (de preferencia) sin manga; lo ideal sería que el varón fuera short corto y sin camisa y la mujer top negro y short ambos sin calzado, ya que con esto resaltan los marcadores y juega un papel como el fondo de la pantalla.

El fondo de pantalla, que juega un papel importante en la filmación, se recomienda que sea negra y se le trace un plano cartesiano donde se conozca el valor del eje X y del eje Y; con la finalidad de que esto ayude al análisis del movimiento con el software resaltando los marcadores como se muestra en la Figura 3.11.



**Fig. 3.11. Diagrama que muestra la pantalla de fondo utilizada y lo ideal es que sea negra.**

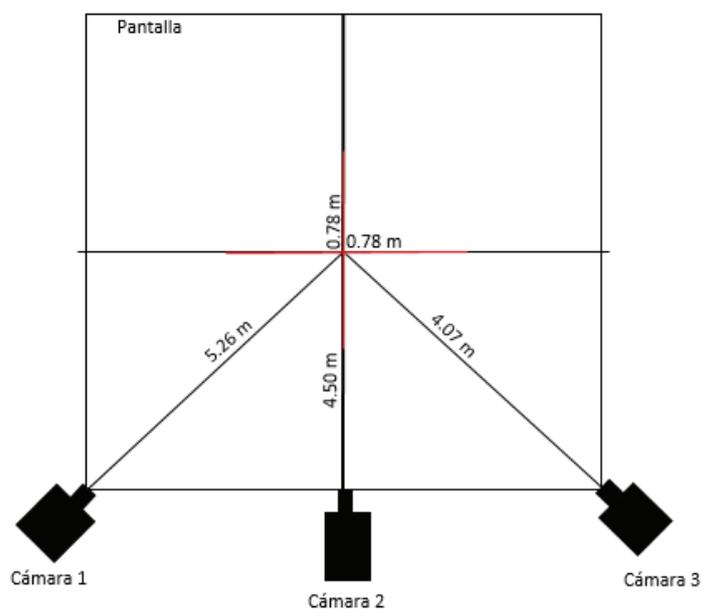
Debemos tener en cuenta que en el armado del set de grabación para el experimento, la distancia y altura a la cual se colocan las videocámaras juega un papel muy importante sobre todo al momento de hacer las gráficas, ya que el tener altura y distancias óptimas hace más exactos los resultados y menos tardado el análisis del video con el software.

En la tabla 3.1 se muestran las distancias y alturas a las cuales se probaron las cámaras y en los lugares en los que se realizaron que se hicieron.

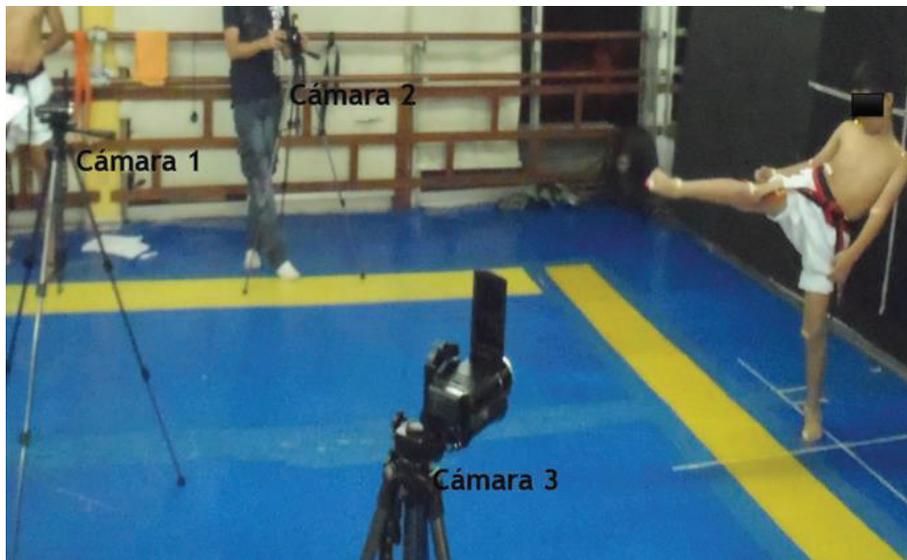
En la figura 3.12 se pueden ver las distancias encontradas como óptimas para nuestra propuesta, para poder desarrollar este experimento sin importar el lugar del que se trate siempre y cuando se cuide la altura de las cámaras, también se debe cuidar que el sujeto de prueba se pare en las marca asignadas en el piso del laboratorio como lo indica la figura 3.13.

Prueba de cámara	Cámara 1	Cámara 2	Cámara 3	Lugar
1	d= 6.23 m, h=1.52 m	d= 5.38 m, h=1.53 m	d= 5.73 m, h=1.21 m	Auditorio
2	d= 2.50 m, h=0.78 m	d= 2.30 m, h=0.75 m	d= 2.30 m, h=0.80 m	Auditorio
3	d= 2.90 m, h=1.21 m	d= 2.90 m, h=1.21 m	d= 2.90 m, h=1.21 m	Salón de clases
4	d= 3.35 m, h=1.20 m	d= 3.28 m, h=1.20 m	d= 3.58 m, h=1.20 m	Dojo
5	d= 5.26 m, h=1.12 m	d= 4.5 m, h=1.11 m	d= 4.07m, h=1.10 m	Laboratorio

**Tabla 3.1 distancias y alturas probadas para una buena grabación**



**Figura 3.12. Arreglo óptimo para poder filmar de manera efectiva el golpe de manos y pies, las características en cuanto a altura se pueden ver en la tabla 3.2**

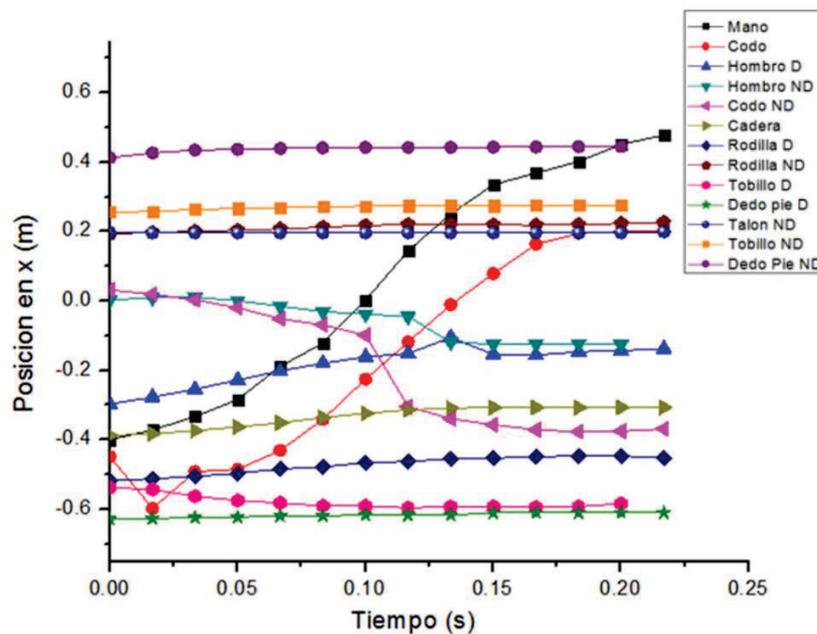


**Fig. 3.13.** En la fotografía superior se muestran los ejes marcados en el piso y la pantalla, mientras que en la fotografía inferior se muestra el armado del set en un dojo con las distancias y alturas descritas en la Tabla 3.2.

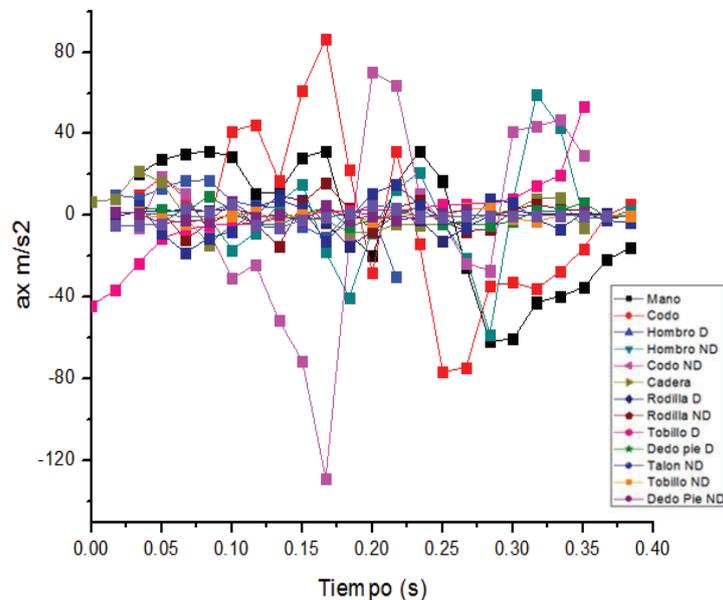
Después de desarrollar un método de tomar los videos, al colocar a los sujetos de prueba en una posición óptima, diseñar los marcadores y métodos de sujeción adecuados, se pueden obtener graficas de posición vs tiempo, o bien velocidad vs tiempo, como la mostrada en la figura 3.14 en la que se contemplan la trayectoria de todas las articulaciones que intervienen en el movimiento del golpe de puño al centro, estas graficas también pueden ser utilizadas para elaborar graficas en 3D como en la segunda etapa, empatando los ejes.

Se cree que una vez caracterizado el golpe el tipo de grafica mostrada en la figura 3.14 podrá ser capaz de mostrar si existe o no una lesión debido a que se sabe que el cuándo una articulación es lastimada el cuerpo compensa la función de está modificando la manera de mover las articulaciones.

La figura 3.15 nos muestra que sí es posible obtener aceleración a partir de la videografía, aunque esta puede ser obtenida de una forma más eficiente usando acelerómetros, como se verá en el siguiente apartado



**Figura 3.14. Gráfica de la trayectoria en x de todas las articulaciones que intervienen en el movimiento del golpe de puño al centro.**



**Figura 3.15. Gráfica de la aceleración en x de todas las articulaciones que intervienen en el movimiento del golpe de puño al centro.**

### Uso de acelerómetros

Para un primer estudio de cinemática se utilizó un conjunto de 3 acelerómetros, colocados en los puntos radiocubital distal (muñeca), epicóndilo humeral (codo), hombro para conectarlos y manipúlalos con la computadora se utilizó un arduino y LabView; en esta primera prueba de acelerómetro se usó el modelo triaxial ADXL345 (Analog Devices Inc.), el cual puede soportar hasta 16g. La frecuencia de muestreo fue de 60 Hz y se desarrollaron programas “ad-hoc” para su calibración y uso.

El principal motivo para muestrear a 60 Hz es porque las videocámaras utilizadas graban a 60 cuadros por segundo; sin embargo, la mayor dificultad de usar este método fue la relacionada con la sujeción. En este caso, al inicio se utilizaron vendas, las cuales provocaban que el musculo fuera apretado, limitando el movimiento, el cual también es limitado por el uso de cable ya que es difícil manipularlo y genera el problema de que cuando se realiza un golpe se desconectan.

Por los problemas presentados en esta primera fase de uso de acelerómetros, solamente se pueden obtener la aceleración en muñeca y codo, otra desventaja es que se debe hacer esta medición separada de la videografía y lo ideal es que se hagan simultáneamente.

El golpe elegido para estas pruebas con acelerómetros fue el golpe de puño al centro efectuado al aire, la figura 3.16 muestra a un sujeto de prueba haciendo este golpe.



**Figura 3.16. Ejemplo de un sujeto de prueba usando acelerómetros.**

### Elaboración de protocolo de grabación

Las tres etapas del presente trabajo hacen que se desarrolle un protocolo de grabación para ejecutarlo en la toma de datos cuando se usa nuestra propuesta.

A todo sujeto de prueba que participan en la toma de datos, se le informa en lo que consiste el experimento y que en cualquier momento pueden abandonarlo, una vez de acuerdo, firmaran un consentimiento informado.

El protocolo final fue dividido en novatos y expertos.

A los novatos, se les pidió realizar el golpe de puño al centro como ellos pudieran, ya que es un golpe común en otras disciplinas de contacto así como en las películas, se da por entendido que en algún momento de su vida vieron uno; se les pide lo realicen tres veces en con un intervalo de 15s de descanso, el cual podían usar para relajar musculo.

Posterior a esto se les explica cómo es que el golpe se realiza en las artes marciales, es decir posturas que deben tomar las distintas partes corporales que intervienen en el movimiento, después se vuelven a filmar siguiendo el mismo procedimiento de tres repeticiones en intervalos de 15s.

En el caso de los expertos se les dice que tiren el golpe de puño con todas sus fuerzas durante 5 veces en intervalos de 10s.

Antes de comenzar con la grabaciones los sujetos de prueban hacen un poco de calentamiento el cual no fatiga sus músculos.



## Capítulo 4. Resultados.

En este capítulo se presentan algunos de los resultados obtenidos durante el desarrollo del trabajo, y que muchos de ellos han sido presentados en Congresos Nacionales de Física organizados por la Sociedad Mexicana de Física SMF, así como en el Congreso Internacional de Biomecánica organizado por CLAIB en Bucaramanga, Colombia, el pasado mes de Octubre de 2016.

En la primera parte presentamos graficas en 3D de tres golpes diferente, es decir, cuando se logró hacer coincidir los tres ejes filmados con videocámaras de 30 cuadros por segundo, y cuyos resultados fueron presentados en el LV Congreso Nacional de Física organizado por la SMF en Morelia, Michoacán, durante el mes de octubre de 2012; después hacemos una revisión de los datos obtenidos mediante Videografía con cámaras a 60 cuadros por segundo y Acelerómetros muestreando a 60 Hz, parte de los resultados fueron presentados en el LVII Congreso Nacional de Física en Mazatlán, Sinaloa en 2014; y, finalmente, en 2015 en el IV Foro de la Salud en León, Guanajuato usando Videografía con cámaras que filman a 60 cuadros por segundo y con marcadores colocados en las zonas corporales que intervienen en el golpe y acelerómetros muestreando a 60 cuadros por segundo pudimos obtener graficas como la presentada en la figura 3.14, las cuales presentan una gran cantidad de información, por lo que en este trabajo nos concentramos en analizar el movimiento de 3 marcadores (mano, codo y hombro), para cada uno de los golpes analizados, y dejando para un trabajo futuro el análisis del conjunto completo de marcadores.

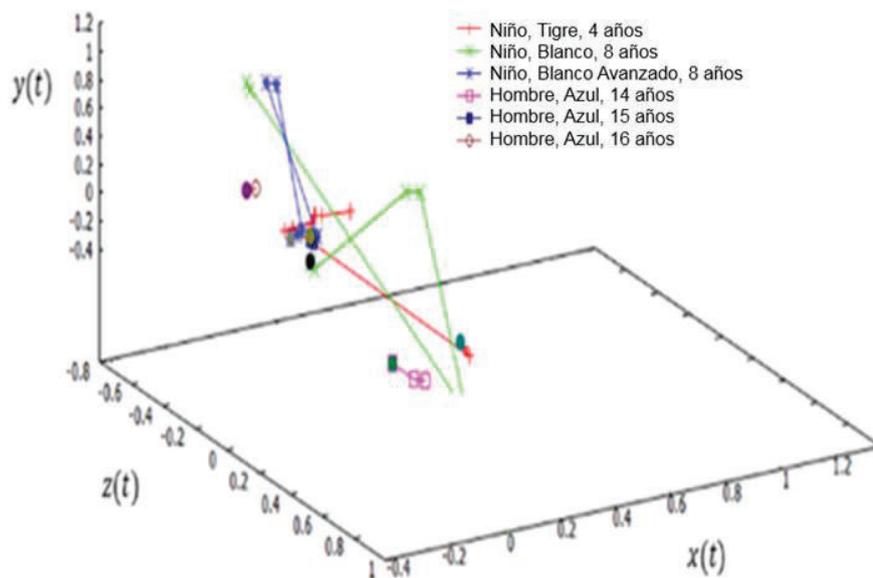
### Resultados usando métodos videográficos.

#### **Ejecución del golpe Tajo Vertical de arriba**

En las figuras 4.1, 4.2 y 4.3 pueden verse las gráficas en 3D de la trayectorias de hombro, codo y mano del golpe de tajo realizado de forma vertical (de arriba

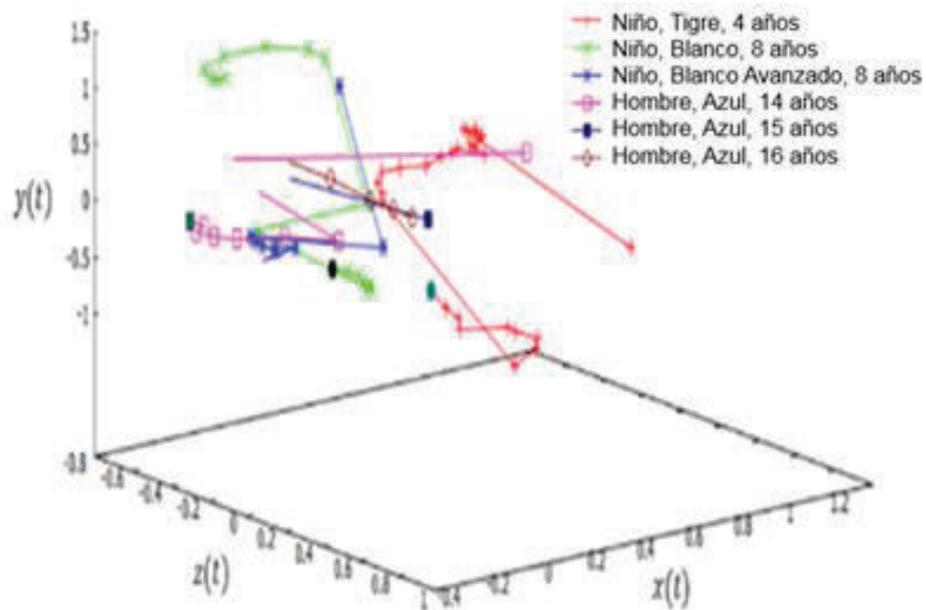
hacia abajo), en las cuales se aprecia a los adolescentes hombres de 14 y 16 años hacer el movimiento en muy poco tiempo, contrario a lo que pasó en los sujetos de 4 y 8 años, pues como lo indica la gráfica se ven más puntos de la trayectoria, lo que indica una rapidez menor.

En el golpe el hombro debe moverse solamente en posición vertical, por tanto en la Figura 4.1 podemos notar que el golpe en los participantes de 14 a 16 años el hombro se mantuvo desde el inicio arriba y prácticamente sin movimiento, cosa contraria sucede en los practicantes de 8 años quienes giran el hombro al momento de realizar el golpe y el pequeño tigre de 4 años hace el movimiento en más tiempo, pero respetando la esencia del golpe.



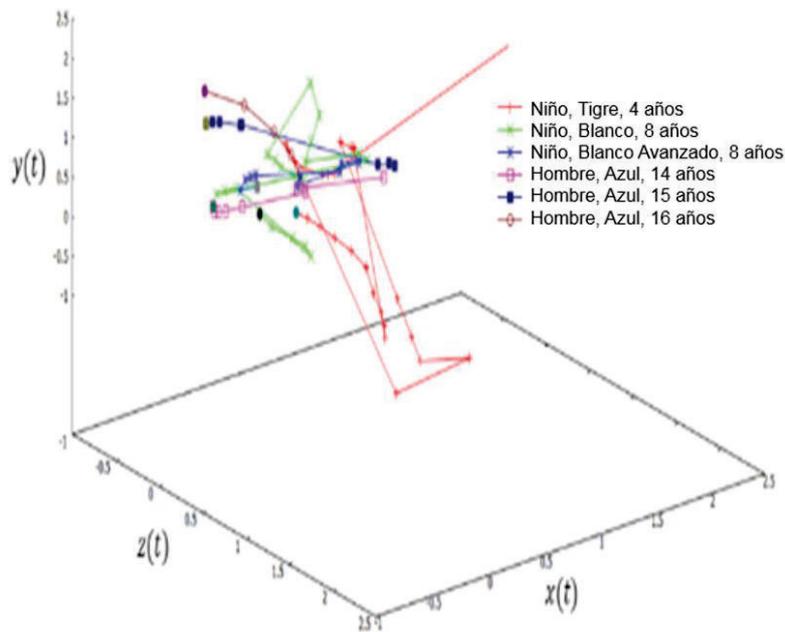
**Figura 4.1. Trayectoria de hombro.**

En la figura 4.2 también se aprecia a los sujetos de 8 años mover más de lo necesario el codo, mientras que los sujetos de 14 a 16 años hacen el movimiento rápido y el pequeño tigre hace el movimiento respetando la técnica con una rapidez menor que los otros ejecutantes.



**Figura 4.2. Trayectoria de codo.**

En general, el segmento corporal que realiza el golpe es la mano, por lo que se dificulta más su control (es decir, ponerla rígida), lo cual se aprecia en la figura 4.3, donde notamos que ninguno de los sujetos de prueba tiene control absoluto de la mano, lo cual es un indicativo de que se debe trabajar más en poner rígida la mano, ya que es la que impacta y el golpe bien ejecutado indica que la mano estuvo rígida desde el inicio del movimiento, cosa contraria a lo que sucede, según se observa en la gráfica.

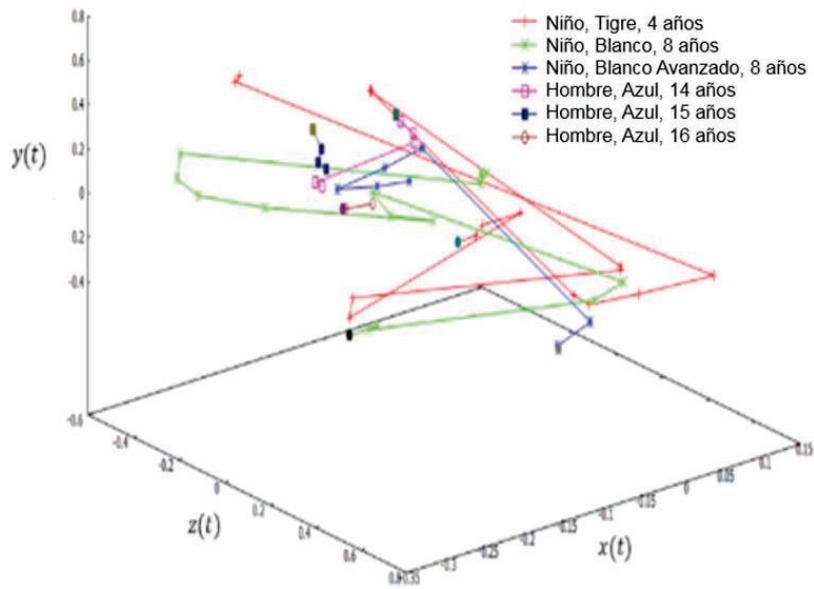


**Figura 4.3. Trayectoria de mano.**

### **Ejecución del golpe Tajo Vertical de abajo hacia arriba**

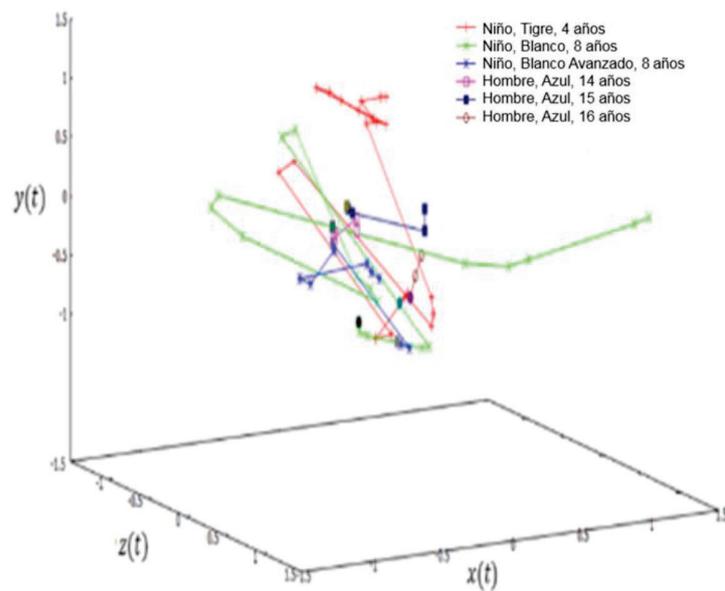
Las figuras 4.4, 4.5 y 4.6 se pueden ver las gráficas en 3D de la trayectorias de hombro, codo y mano del golpe de tajo realizado de forma vertical (de abajo hacia arriba), en las que se aprecia a los adolescentes hombres de 15 y 16 años hacer el movimiento en muy poco tiempo, contrario a lo que paso en los sujetos de 4 y 14 años.

En la figura 4.4 tenemos la trayectoria del hombro, en la cual el golpe original indica que el hombro debe permanecer quieto y subir junto con el cuerpo, pero en la gráfica podemos notar que el hombro gira, sobre todo en los sujetos de 4 a 14 años.



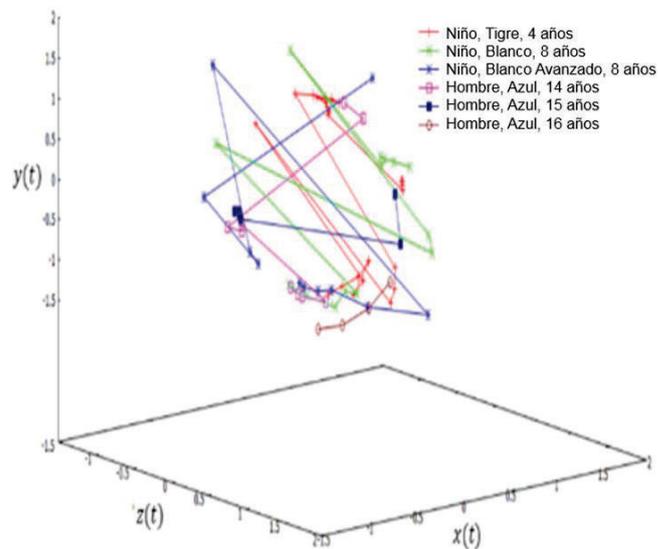
**Figura 4.4 Trayectoria del hombro.**

En la gráfica mostrada en la figura 4.5 se ve que los sujetos de prueba de 4 a 8 años tienen menos control del codo en cual indica un mal golpe, caso contrario ocurre en los sujetos de 14 a 16 años.



**Figura 4.5 Trayectoria del codo.**

En la figura 4.6 se ve que solamente los sujetos más grandes y con mayor rango marcial mantienen rígida la mano, es decir solamente la mueven en un plano vertical como debe hacerse el movimiento, caso contrario a los sujetos con menor experiencia y edad.



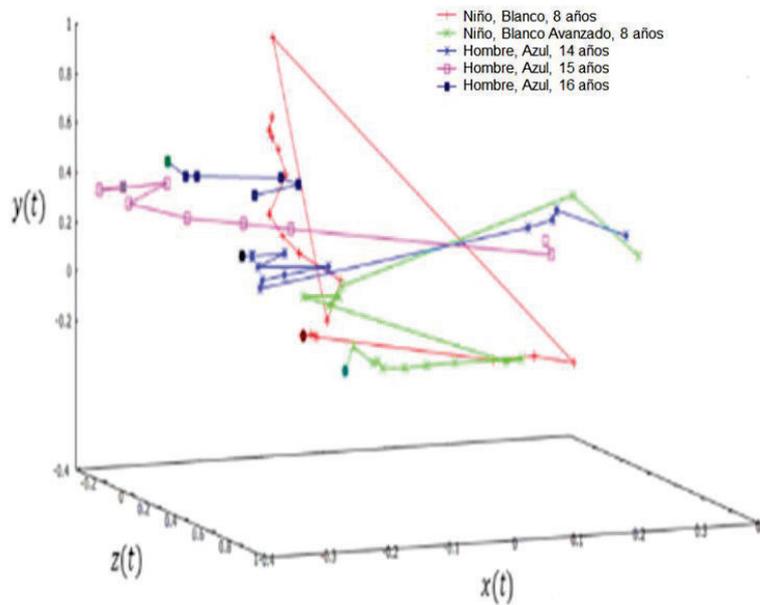
**Figura 4.6 Trayectoria de mano.**

### **Ejecución del golpe Tajo Horizontal**

En las figuras 4.7, 4.8 y 4.9 se pueden ver las gráficas en 3D de la trayectorias de hombro, codo y mano del golpe de tajo realizado de forma horizontal (con la palma de la mano hacia arriba), en las cuales se aprecia a los adolescentes hombres de 14 a 16 años hacer el movimiento en muy poco tiempo, contrario a lo que paso en los sujetos de 4 y 8 años.

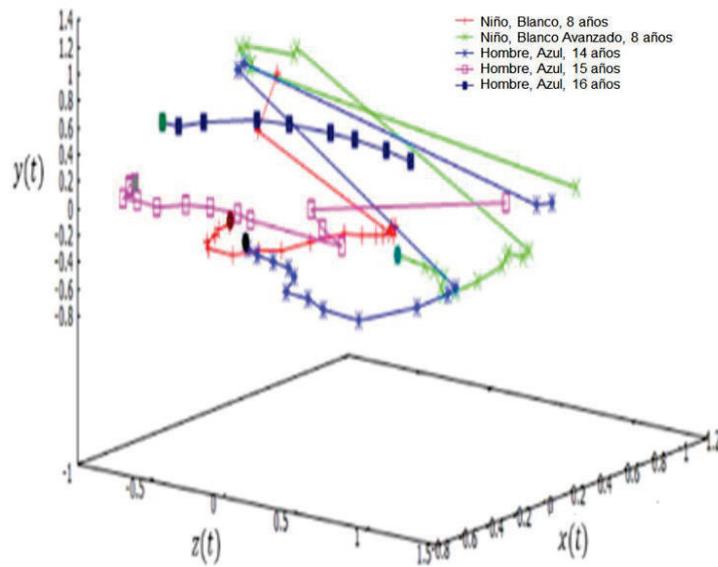
En la figura 4.7 se puede apreciar que los adolescentes cintas azules mantienen un buen control de su hombro, es decir tienen un buen pivote, mientras los niños lo mueven de más y por más tiempo; por ejemplo, el niño cinta blanca sube innecesariamente el hombro, el niño cinta blanca avanzada mueve el hombro

de forma similar a los adolescentes cintas azules de 15 y 16 años, pero el chico de 14 años muestra irregularidad en la trayectoria del golpe.



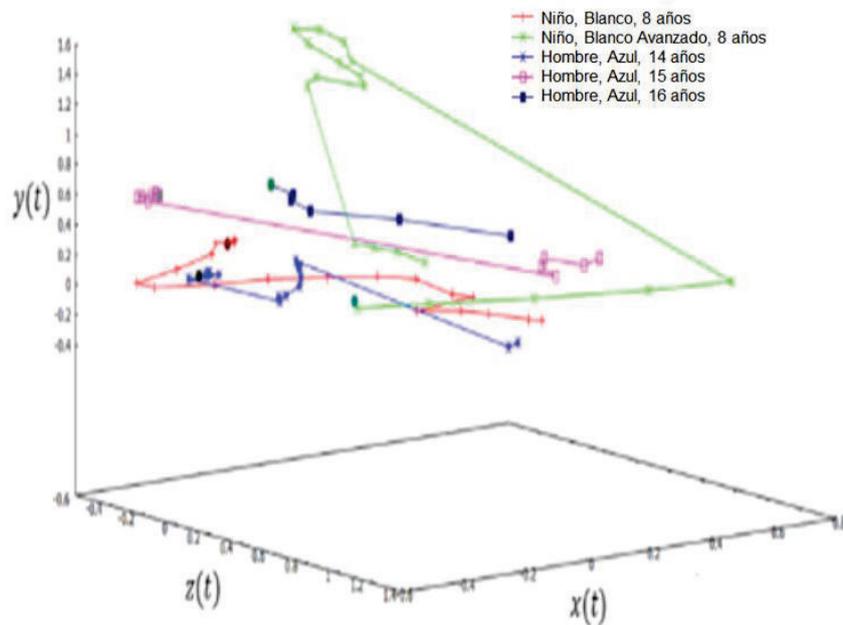
**Figura 4.7 Trayectoria del hombro.**

En la figura 4.8 se destaca que sólo el chico de 16 años puede controlar a la perfección el codo, mientras que todos los demás lo mueven demasiado.



**Figura 4.8 Trayectoria del codo.**

En la figura 4.9 sucede lo mismo que en la Figura 4.8, el sujeto de prueba de 16 años presenta un perfecto control de la muñeca al momento de realizar el golpe, caso contrario a todos los demás sujetos.



**Figura 4.9 Trayectoria de mano.**

## Aplicación de la metodología propuesta.

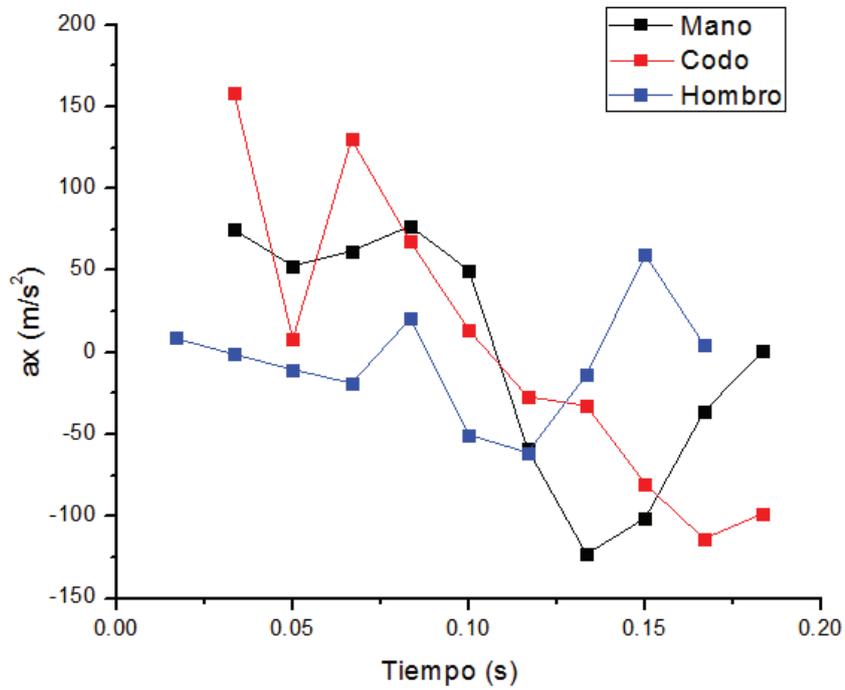
Una vez que se pudo graficar en 3D, y considerando las dificultades que implica el estudiar tres golpes diferentes, se decidió (por el momento) enfocarse en depurar la metodología de la toma de datos con el golpe del puño al centro el cual es genérico en las artes marciales y boxeo llamado e implementar el uso de acelerómetros para complementar el método de visión artificial o videografía.

En esta fase también se decidió por el momento tomar sólo a sujetos de prueba en edad de 20 a 30 años pues ya el cuerpo se encuentra desarrollado, y como se pretende crear una metodología para la caracterización de los golpes se decidió tomar en cuenta a sujetos de prueba novatos (nunca han practicado artes marciales) y expertos (personas que alguna vez practicaron o practican artes marciales).

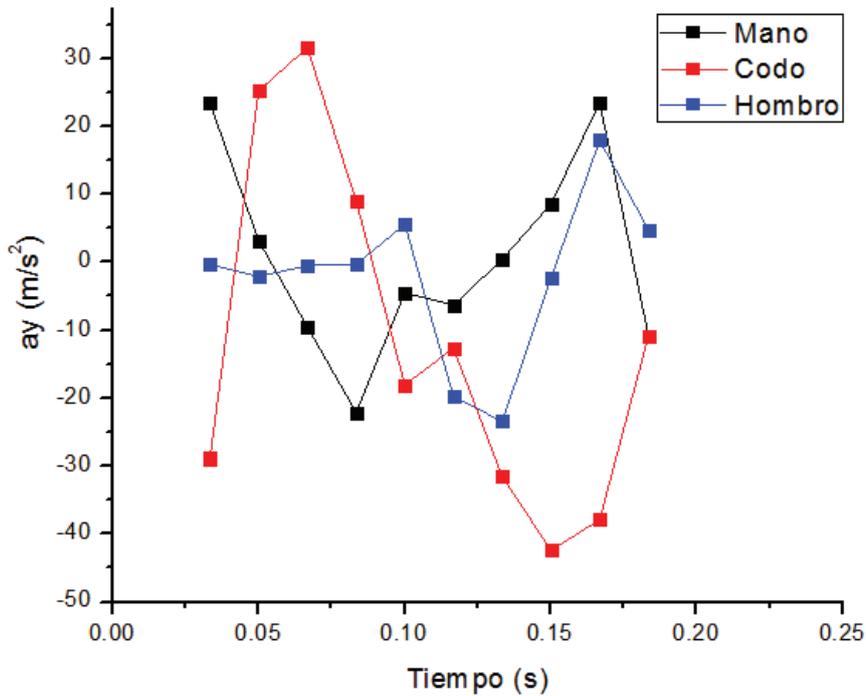
### **Aceleración a partir de datos videográficos**

En las siguientes cuatro figuras se presentan las gráficas de aceleraciones en  $x$  y  $y$  para ejecutantes experto y novato, con la finalidad de mostrar que es posible calcular aceleraciones a partir de los datos de posición, mediante diferenciación numérica.

**Aceleración para puño experto ( $a_x$  vs  $t$ ) y ( $a_y$  vs  $t$ )**

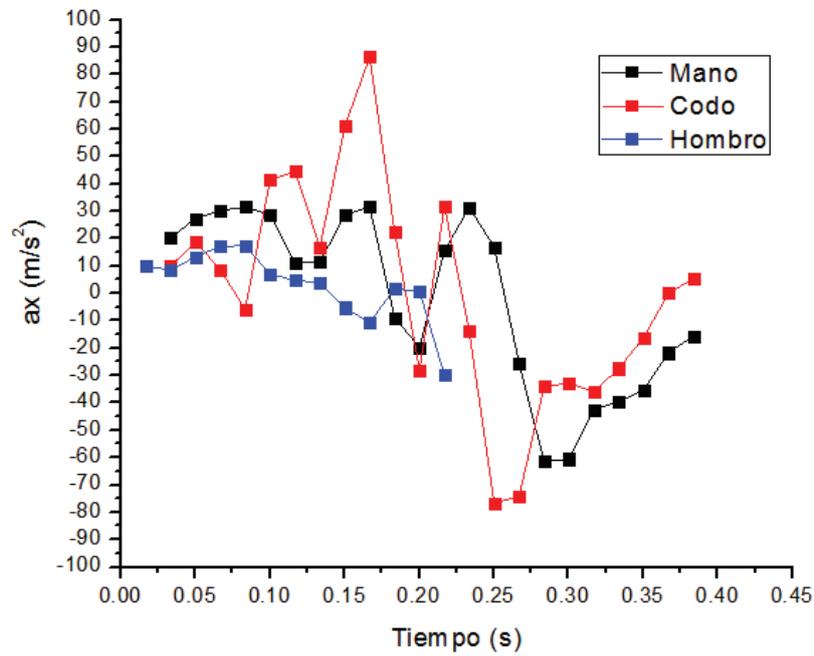


**Figura 4.10. Gráfica de la aceleración del golpe de puño en  $a_x$ , para un experto.**

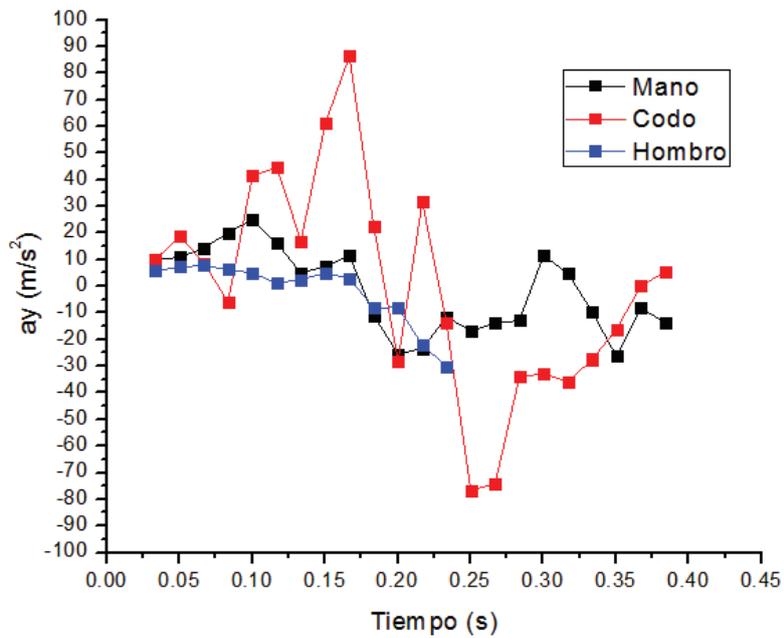


**Figura 4.11. Gráfica de la aceleración del golpe de puño en  $a_y$ , para un experto.**

**Aceleración para puño novato ( $a_x$  vs  $t$ ) y ( $a_y$  vs  $t$ ).**



**Figura 4.12. Gráfica de la aceleración del golpe de puño en  $a_x$ , para un novato.**



**Figura 4.13. Gráfica de la aceleración del golpe de puño en  $a_y$ , para un novato.**

Como se observa en las gráficas anteriores, la información obtenida mediante el empleo de marcadores en todas las articulaciones involucradas en el movimiento puede ser muy amplia, en lo que sigue se optó por enfocarse en el análisis del movimiento de tres puntos importantes del golpe: el hombro, el codo y la mano. Además de lo anterior, se consideró analizar a un mismo sujeto considerando que el golpe es resultado del movimiento coordinado de varios segmentos corporales.

En lo que sigue se presentan resultados en lo que sólo se consideran los tres marcadores mencionados, tanto para el ejecutante experto como para el ejecutante novato.

### **Golpe de puño al centro. Desplazamiento.**

Las figuras 4.14 y 4.15 muestran el golpe de puño al centro de un experto, mientras que las figuras 4.16 y 4.17 muestran a un novato.

Tanto en la figura 4.14, como en la figura 4.15, se observa que el tiempo de ejecución de experto es de 250 ms, mientras que en las figuras 4.16 y 4.17 el tiempo del novato es de 700 ms.

Como ya se mencionó en el capítulo 2, el golpe de puño al centro inicia a la altura de la cadera en la Figura 4.14 se puede notar esta subida de manera uniforme en codo y muñeca así como el hombro sube ligeramente, esto en un sujeto experto mientras que en un sujeto novato se aprecia que hacia el final del golpe se mueven abruptamente el codo y muñeca y a la vez el hombro sube de forma considerable (ver figura 4.16).

Mientras que para la figura 4.15 vemos en el sujeto experto que el movimiento es prácticamente uniforme en comparación con el sujeto inexperto ver figura 4.16.

Desplazamiento para puño, para un experto, ( $x$  vs  $t$ ) y ( $y$  vs  $t$ )

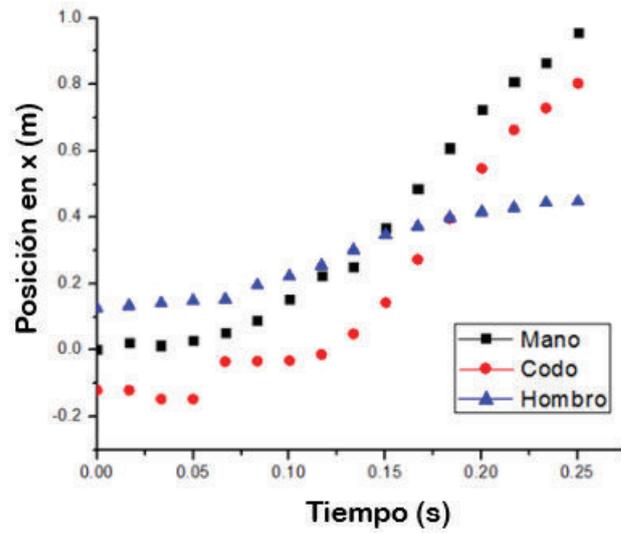


Figura 4.14. Gráfica de la trayectoria del golpe de puño en la dirección  $x$ , para un experto.

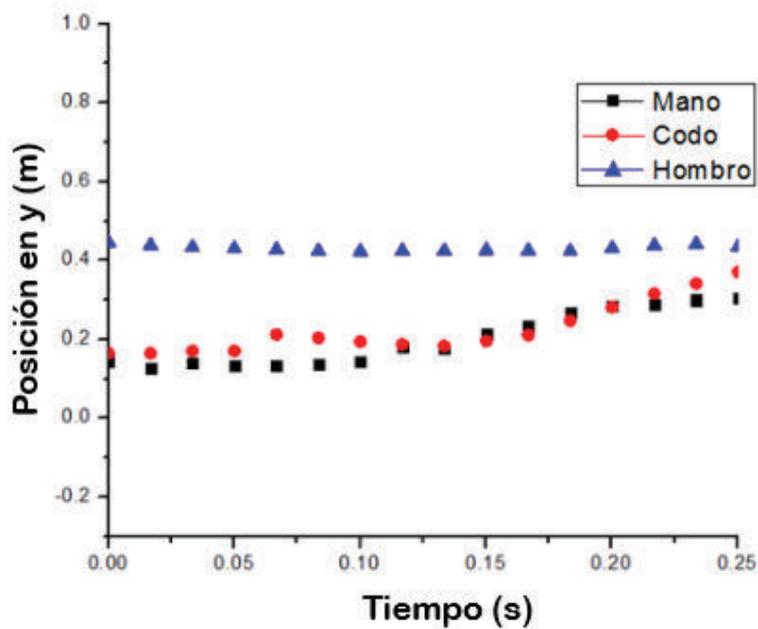


Figura 4.15 Gráfica de la trayectoria del golpe de puño en la dirección  $y$ , para un experto

Desplazamiento para puño, para un novato, ( $x$  vs  $t$ ) y ( $y$  vs  $t$ )

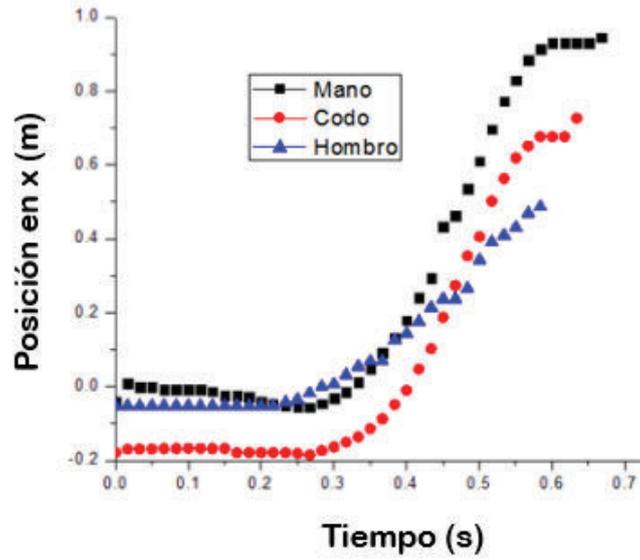


Figura 4.16. Gráfica de la trayectoria del golpe de puño en la dirección  $x$ , para un novato.

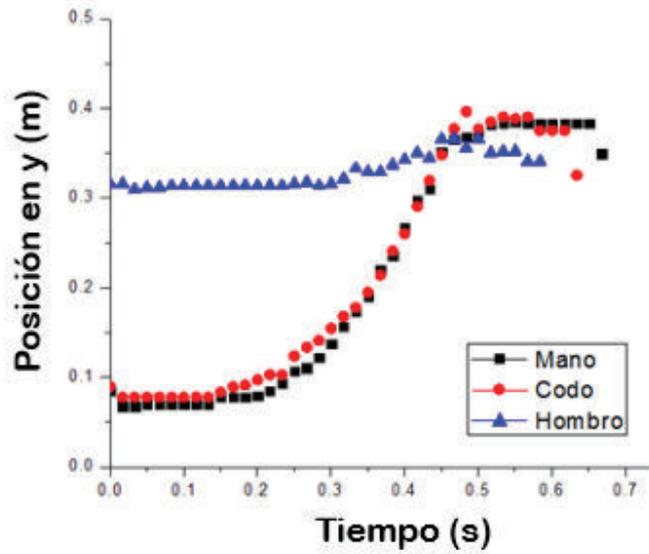


Figura 4.17. Gráfica de la trayectoria del golpe de puño en  $y$ , para un Novato.

### Golpe de puño al centro. Velocidad.

En este caso, el software Tracker nos dio información sobre la velocidad, la cual se puede ver en las gráficas 4.18 y 4.19 para expertos y para los novatos las correspondientes a las gráficas 4.20 y 4.21.

En los expertos se puede ver velocidad en aumento suavemente (ver figuras 4.18 y 4.19); en cambio en los novatos el cambio de la velocidad es de forma abrupta (ver figuras 4.20 y 4.21).

Velocidad para puño experto ( $v_x$  vs  $t$ ) y ( $v_y$  vs  $t$ )

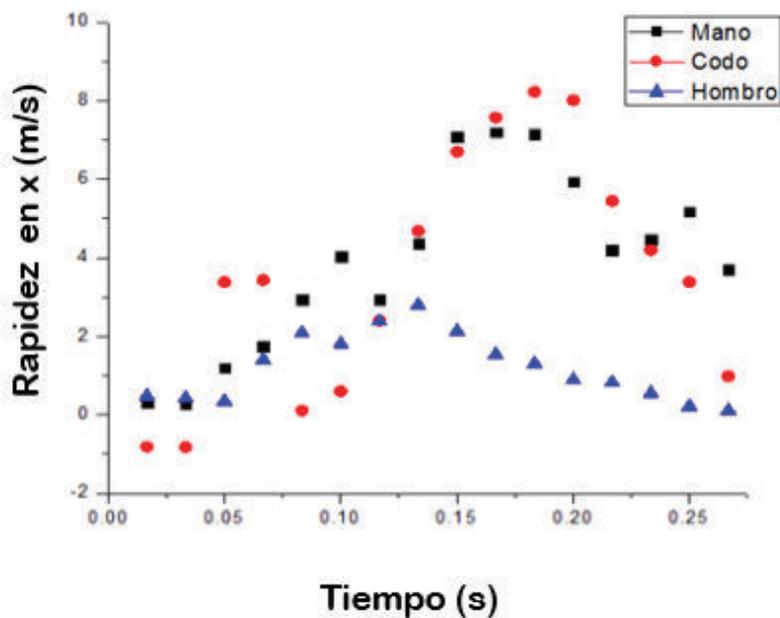


Figura 4.18. Gráfica de la Velocidad del golpe de puño en  $v_x$ , ejecutado por un experto.

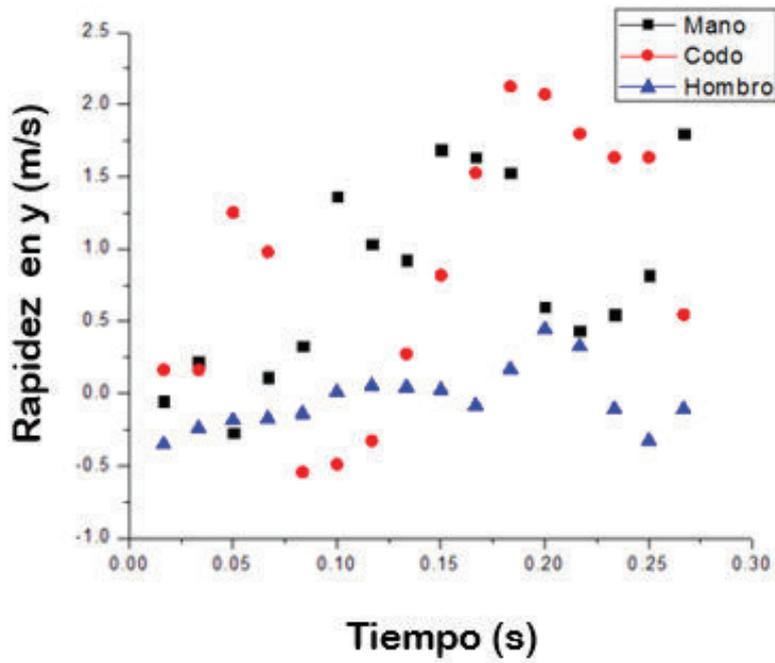


Figura 4.19. Gráfica de la Velocidad del golpe de puño en  $v_y$ , ejecutado por un experto.

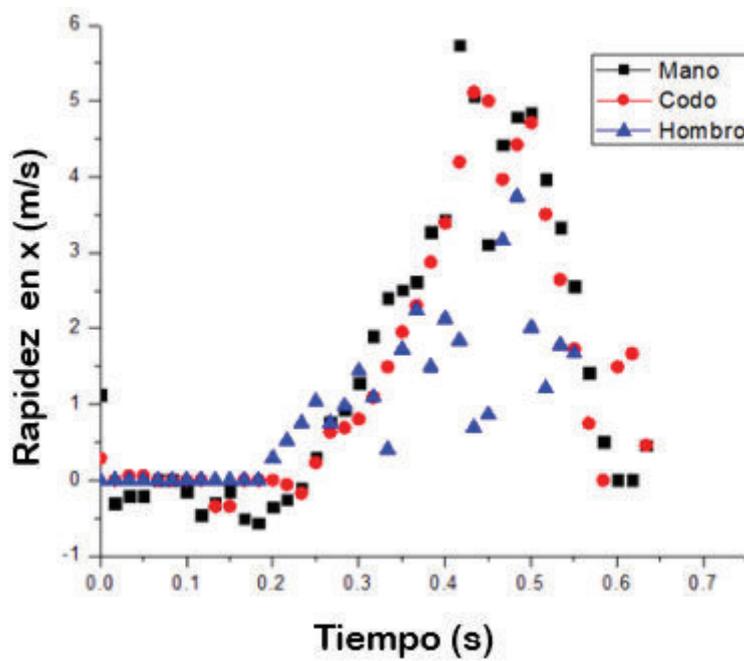
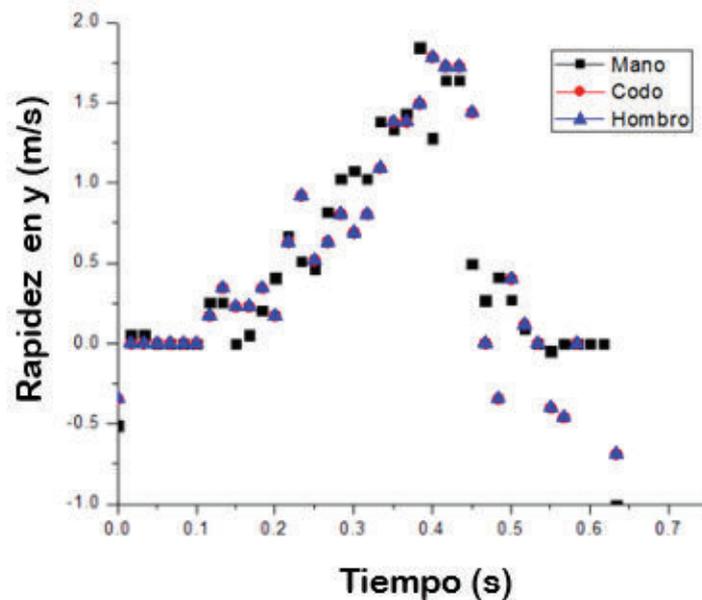


Figura 4.20. Gráfica de la Velocidad del golpe de puño en  $v_x$ , ejecutado por un novato.



**Figura 4.21. Gráfica de la Velocidad del golpe de puño en  $v_y$ , ejecutado por un novato.**

Como se muestra en las gráficas de aceleración obtenidas del método de videografía (figuras 4.10, 4.11, 4.12 y 4.13), se puede obtener la aceleración usando el software con el cual se analizan los videos.

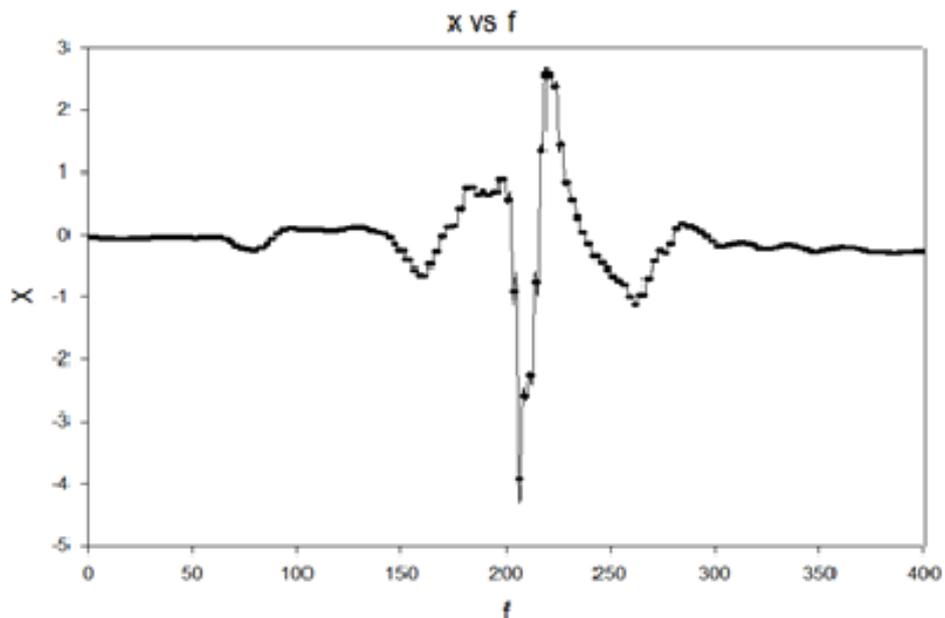
Sin embargo, es importante recordar que las cámaras usadas fueron de 60 cuadros por segundo (fps) por lo que, debido a que las cámaras con mayor número de cuadro por segundo son muy costosas, decidimos implementar el uso de sensores que midan la aceleración, llamados acelerómetros, los cuales muestrean a 60 Hz, lo que equivale a trabajar con videos de 60 fps.

Por ahora como implementando el uso de acelerómetros y para implementar el uso de acelerómetros el momento para probar el método, a continuación se muestran los resultados de la primera toma de datos con el acelerómetro solamente colocado en muñeca y codo.

### **Golpe de puño al centro. Aceleración.**

En las Figuras 4.22, 4.23 y 4.24 podemos ver la aceleración de la muñeca en las tres direcciones:  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ; de la misma forma en la Figuras 4.25, 2.26 y 4.27 tenemos la aceleración de codo en  $x$ ,  $y$ ,  $z$ .

La aceleración se obtiene al muestrear a 60 Hz es decir lo equivalente al muestreo con las Videocámaras a 60 fps, con ello se logra ver que los acelerómetros proporcionan más puntos que las cámaras si a eso le sumamos la integración descrita en el capítulo 2, podemos decir que con la ayuda de los acelerómetros que son más económicos podemos recuperar los datos que no podemos tener con las cámaras las cuales son más costosas.



**Figura 4.22. Gráfica de la aceleración  $a_x$  de la muñeca durante el golpe de puño, obtenida a partir del acelerómetro.**

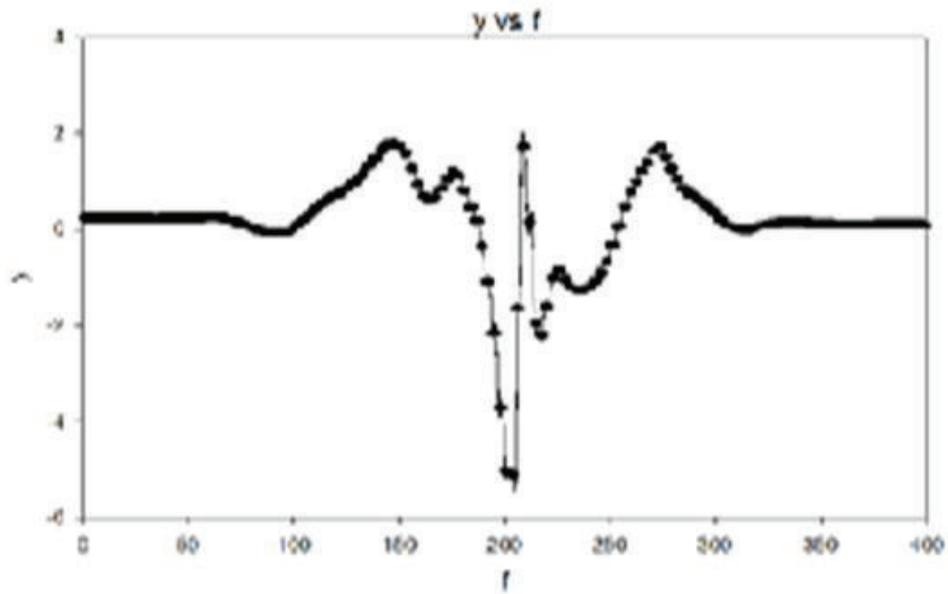


Figura 4.23. Gráfica de la aceleración  $a_y$  de la muñeca durante el golpe de puño, obtenida a partir del acelerómetro.

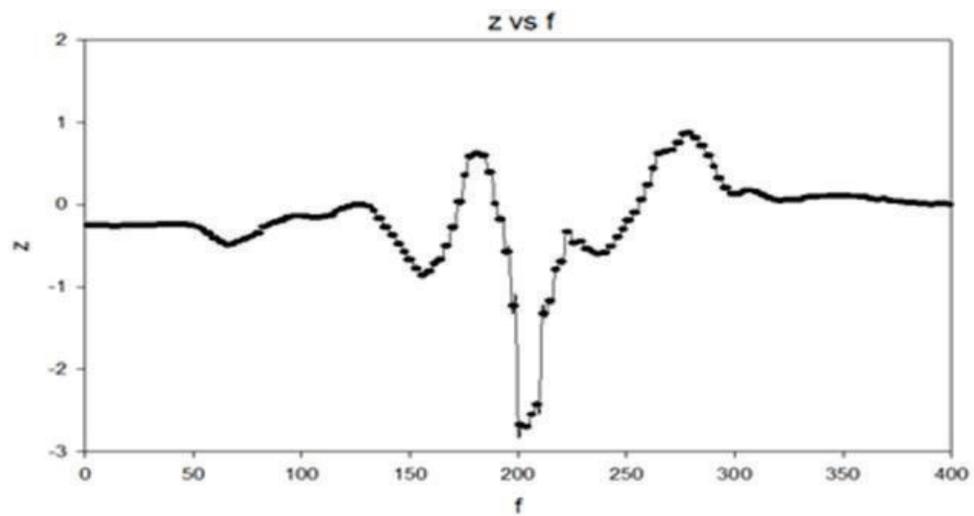


Figura 4.24. Gráfica de la aceleración  $a_z$  de la muñeca durante el golpe de puño, obtenida a partir del acelerómetro

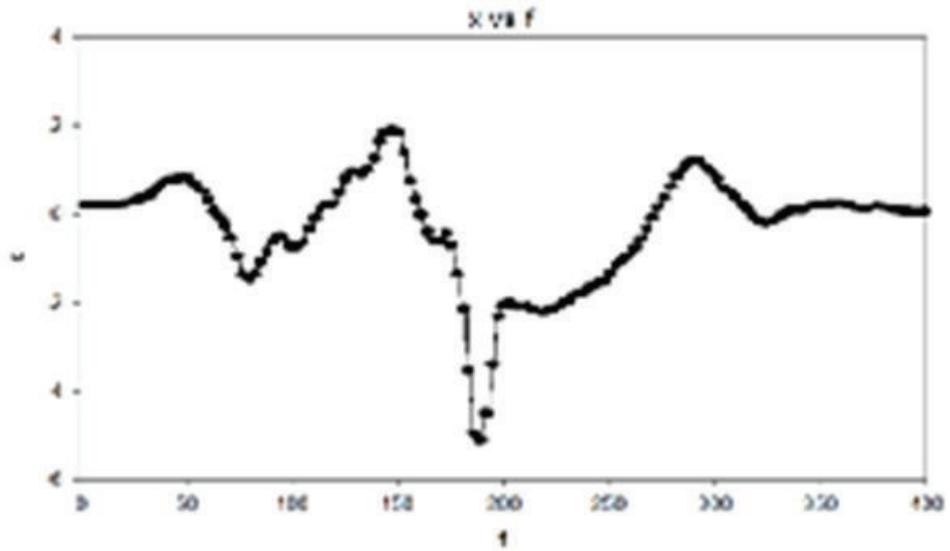


Figura 4.25. Gráfica de la aceleración  $a_x$  del codo durante el golpe de puño, obtenida a partir del acelerómetro.

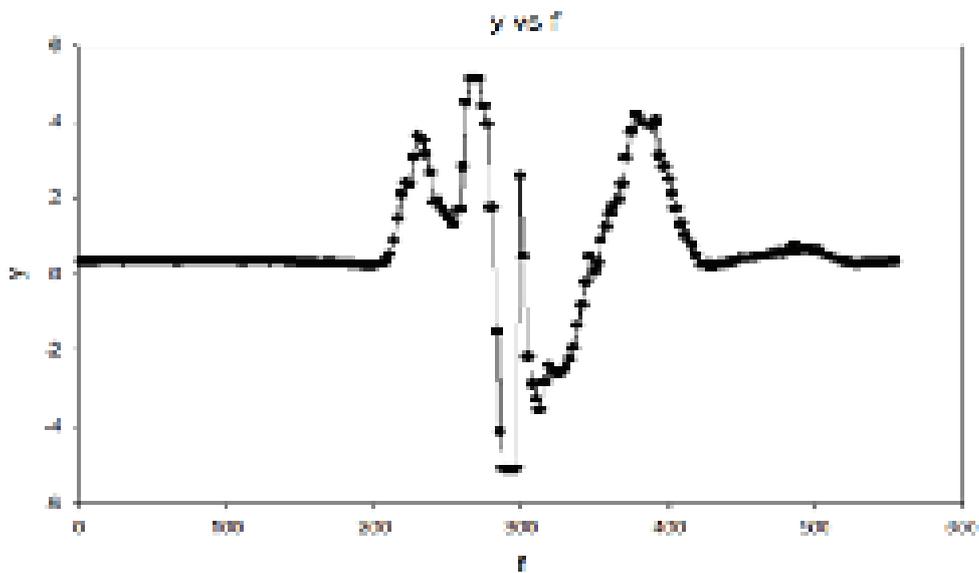


Figura 4.26. Gráfica de la aceleración  $a_y$  del codo durante el golpe de puño, obtenida a partir del acelerómetro.

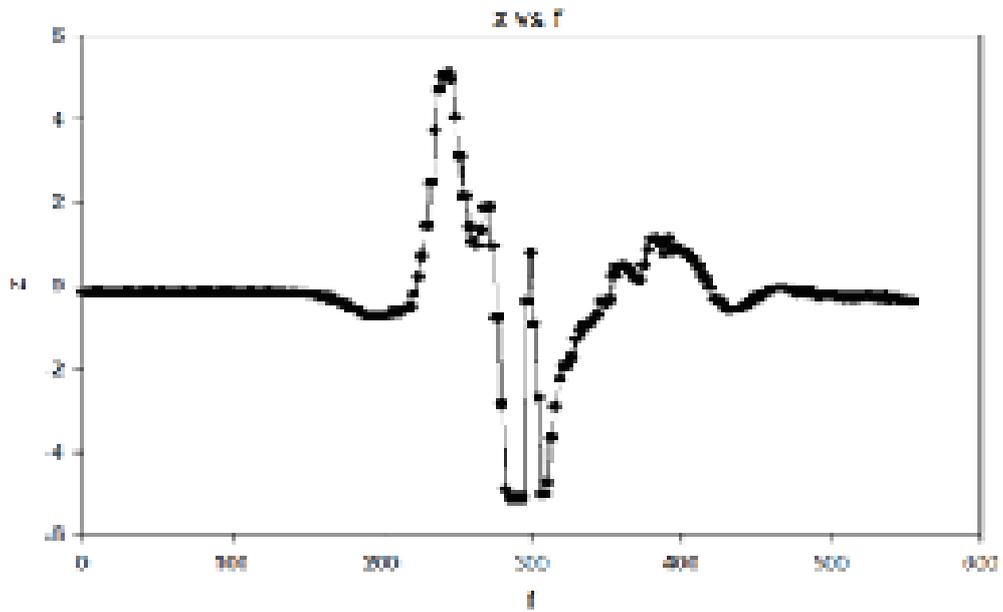


Figura 4.27 Gráfica de la aceleración  $a_z$  del codo durante el golpe de puño, obtenida a partir del acelerómetro.



## Capítulo 5. Conclusiones y perspectivas.

### Discusión.

Al inicio de este trabajo solo contábamos con cámaras que grababan a 30 cuadros por segundo; con ellas, pese a la gran velocidad de los movimientos en las artes marciales (en promedio 3ms), se lograron tener puntos para graficar la trayectoria, de hombro, codo y mano; con dichos datos, y aplicando un poco de física básica, se obtuvieron velocidad y aceleración.

Una vez mejorado el método de filmación, agregando marcadores solamente en hombro, codo y mano, se pudo hacer una reconstrucción de la trayectoria en 3D, haciendo un empate de ejes con algunos métodos numéricos.

Después de haber logrado empatar los ejes y, mejorar el método de filmación agregando marcadores en todos los segmentos corporales involucrados en el movimiento, se tuvo la oportunidad de filmar con tres cámaras a 60 cuadros por segundo, y con acelerómetros a 60 Hz, lo que permitió comprobar la importancia de complementar estos métodos ya que lo que no podemos obtener de uno lo obtenemos de otro. Por ejemplo de los datos del acelerómetro, aplicando el procedimiento de integración descrito en el capítulo 2, podemos conocer el incremento de la velocidad en un cierto intervalo de tiempo  $t$ , así como el cambio de posición; y con los datos de la videografía podemos especificar las posiciones inicial y final del movimiento.

Otro punto que contribuye a bajar el costo de la metodología propuesta considera el pasar de un software licenciado (como el empleado al inicio de este trabajo) a uno de libre acceso (como Tracker), lo que disminuye costos para el análisis de los datos. Con lo anterior, podemos afirmar que su implementación sería útil para el deporte no solo en las artes marciales, sino que puede ser adaptado a otras disciplinas como levantamiento de pesas, softbol, lanzamiento de jabalina, tiro con arco, etc.

Además, las gráficas obtenidas con este método permiten tener un seguimiento del desarrollo del sujeto de prueba, así como detectar una lesión existente o por mala ejecución de técnica.

Con lo anterior, y para fines de presentación de la propuesta, se busca analizar y describir lo mejor posible un golpe; en nuestro caso, y por el momento se estudiará, con la idea de caracterizarlo, el golpe de puño al centro, por ser un golpe genérico en las artes marciales y en otras disciplinas de contacto.

## Conclusiones.

En este trabajo mostramos que el método de visión artificial permite obtener las posiciones de las articulaciones en cualquier instante de tiempo; mientras que con el empleo de acelerómetros obtenemos las aceleraciones en tres direcciones perpendiculares  $(x,y,z)$ .

Por lo anterior, podemos afirmar que ambos métodos se complementan, ya que integrando numéricamente podemos obtener la posición a partir de las aceleraciones (tal como se explicita en las ecuaciones 2.1 y 2.2), y con los datos obtenidos mediante visión artificial podemos ajustar los parámetros introducidos al integrar y, con ello, tener la descripción del movimiento en 3D.

Ambos métodos son portables y de bajo costo (aproximadamente MXN\$20,000), aunque se tiene la desventaja de que los acelerómetros limitan el movimiento del practicante, ya que es necesario un cable para mantener la conexión, sin embargo se ha considerado la posible inclusión de un sistema de conexión inalámbrico.

La inclusión de los acelerómetros podría usarse para determinar las vibraciones que recibe cualquier articulación al momento de un impacto.

Se está consciente de que la metodología propuesta en este trabajo debe seguir refinándose para lograr establecer una metodología de bajo costo que provea información relevante al entrenador y al deportista, aunque por el momento se tienen resultados cuyo análisis no está completo, lo obtenido nos hace pensar que

estamos en el camino adecuado, aunque se está consciente de que el método puede mejorarse.

Si bien es cierto que la idea original era estudiar golpes de Karate, en específico el estilo Tang Soo Do, nuestra metodología propuesta se puede aplicar a cualquier estilo de artes marciales, o incluso a otras disciplinas deportivas.

### Perspectivas y trabajo futuro.

Una vez concluido este trabajo, y considerando la experiencia adquirida, consideramos las siguientes acciones como realizables:

- Colocar sensores de bajo costo como acelerómetros, electro miógrafos y giroscopios en las mismas articulaciones que son marcadas para la visión artificial y ver si pueden distinguir el movimiento de las técnicas de las artes marciales, al igual que lo que se puede ver con la metodología propuesta.
- Construir una plataforma o dispositivo que mida la fuerza de impacto con que se da el golpe y poderla relacionar con la aceleración medida, para modelar físicamente a los diferentes segmentos corporales que participan en el movimiento.
- Usar los datos obtenidos por acelerómetros y videografía para conocer los ángulos entre articulaciones y poder analizar posibles lesiones o malformaciones.
- Mediante el uso de acelerómetros medir dosis de vibración en las articulaciones, para conocer el daño provocado por el golpe.
- Hacer uso del método propuesto con más sujetos de prueba clasificados en expertos y novatos, y hacer estadística con el objetivo de caracterizar el golpe y, a la par, llevar un registro de la evolución o mejoramiento de la técnica.
- Caracterizar el espacio donde se realiza el movimiento usando coordenadas correspondientes a los planos corporales.

- Una vez caracterizados los golpes en las artes marciales, consideramos factible el desarrollo e implementación de una terapia basada en movimientos de las artes marciales.
- Estudiar, mediante la técnica propuesta (videografía y acelerómetros), a sujetos de prueba novatos y expertos realizando otros movimientos donde se involucren las extremidades inferiores, como el pateo.
- Mediante cosenos directores, o arreglos matriciales poder empatar los ejes  $(x,y,z)$  de los acelerómetros para que coincidan con los ejes del cuerpo humano.

# ANEXOS

## Anexo 1. Artículo en Memorias en Extenso del Congreso de Biomecánica

1

### A Low-Cost Methodology for Biomechanical Analysis of Martial Arts Using Videography and Accelerometers

J.G. Vejar-Robles<sup>1</sup>, A. Vega-Gonzalez<sup>2</sup> and R.P. Duarte-Zamorano<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Sonora/Departamento de Física, Hermosillo, Sonora, México

<sup>2</sup>Universidad de Guanajuato/División de Ciencias e Ingenierías, León, Guanajuato, México

**Abstract—** To achieve this, in this paper is made a study of motion using videographic techniques and using accelerometers to make a comparison between different individuals and identify differences and similarities, which is shown in the figures and graphs that are included. The advantage of this method is its low cost and potential for analysis presenting the data obtained in this way.

**Keywords—** Videography, accelerometers, martial arts, Tang Soo Do, motion.

#### I. INTRODUCTION

Biomechanics is the study of continuum mechanics of biological systems (i.e., study load, movement, tension, etc. solids and fluids) and mechanical effects resulting in the movement, size, shape and body structure at the molecular level to the cellular level. One area of particular interest where biomechanics can contribute significantly is in sports. Here, the specific objectives of biomechanics include improved performance, prevent injury and promote safety of individuals. Motion analysis is key to professional sports training, in order to optimize and improve athletic performance. Therefore, this paper aims to develop a low-cost methodology to study the biomechanics of martial arts with the particularity of being able to study it in the participant's environment.

Currently, there is not a standard for the biomechanical study of martial arts [8,10]. However, there is a consensus that quantitative data are required and it is necessary to study the kinematics and kinetics. Most systems currently used in martial arts, only contemplate the kinematics. This paper considers a methodology to study the kinematics and kinetics in martial arts.

#### II. MOTIVATION

The interest in carrying out a systematic study of the movements in martial arts arises when, in a review for the next martial degree, for one of the authors, that includes, as part of the test, to make a break of wood (which is 12in x 12in side and 1in thick). It was noted that all grades and almost all

ages could break them (although performers 3 to 8 years had difficulty). From the above observation raises the question: does the martial degree, physiology or physics behind it, to achieve the successful movement to make the break?

#### III. METHODOLOGY AND RESULTS

In order to answer the previous question, a first analysis consisted of the following methodology: several practitioners were filmed (of different degrees or ribbons aged between 3 and 48 years), to be analyzed frame by frame and thus study the kinematics of the movement, and the relative positions of the extremities according to blow that was made for a successful break. The techniques used for breakups are presented with this methodology: *Choon Dan Kong Kyuck* (right fist in the middle) [4]. For the study of the movements the participant was recorded with two home video cameras (30 frames per second – fps-) with the idea that a camera captured the vertical movement and another captured the horizontal. The videos were edited obtained with VideoPoint Capture™ program, and then were analyzed using the VideoPoint Physics Fundamentals™ program for the positions of the tips on each stroke. With these position data, and by employing an applet that makes calculations using least squares adjustment, we obtained velocity and acceleration.

Some of the results obtained with this method are shown in Figure 1.

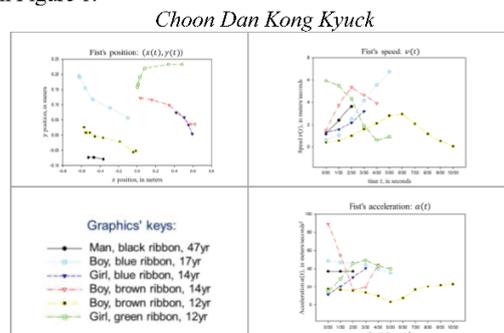


Fig. 1: Graphs obtained using videography with a home video camera recording at 30 frames per second (fps).

In a second part of this study the coup was reported in 3D. Practitioners were recorded with two home video cameras (30 fps), which were placed at the same height and axes perpendicular, so that the planes in each chamber have an axis coincident, the axis  $y$ .

The obtained videos were edited with VideoPoint Capture™ [6] program, and then were analyzed using the VideoPoint Physics Fundamentals™ [5] program for positions on every shot. With these position data, and making the necessary adjustments to "match" the  $y(t)$  data, we obtained the 3D path followed by hands, elbows and shoulders. It is also important to mention that the tied axes coincide with the coordinate axes of the human body. In Figures 2, 3 and 4, are shown shoulder's, elbow's and hand's path of 6 *Tang Soo Do* [4] amateurs performing the blows called *Sang Dan Soo*, *Had Dan Soo* and *Yuk Soo* [4], respectively.

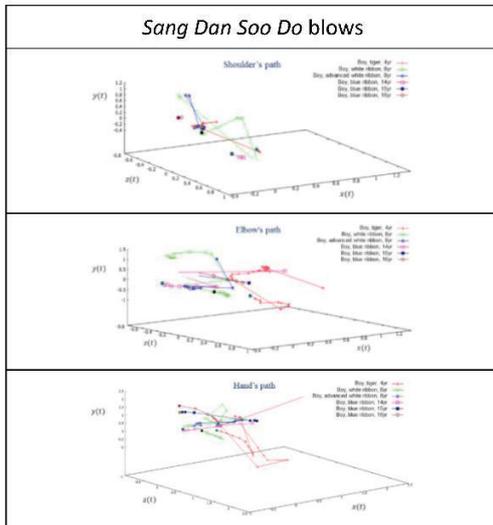


Fig. 2: Paths followed by the shoulder, elbow and hand of six *Tang Soo Do* amateurs performing *Sang Dan Soo Do* blows.

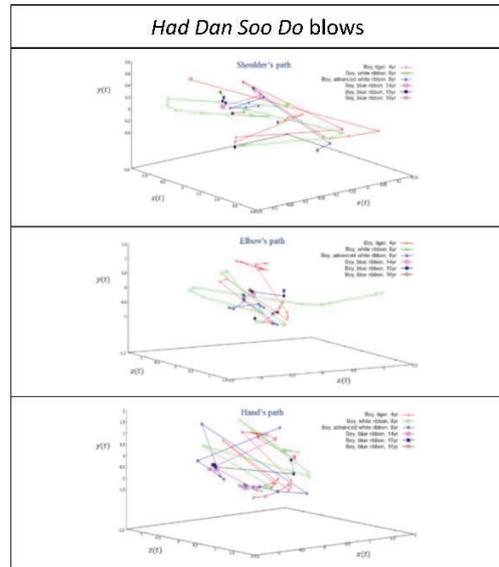


Fig. 3: Paths followed by the shoulder, elbow and hand of six *Tang Soo Do* amateurs performing *Had Dan Soo Do* blows.

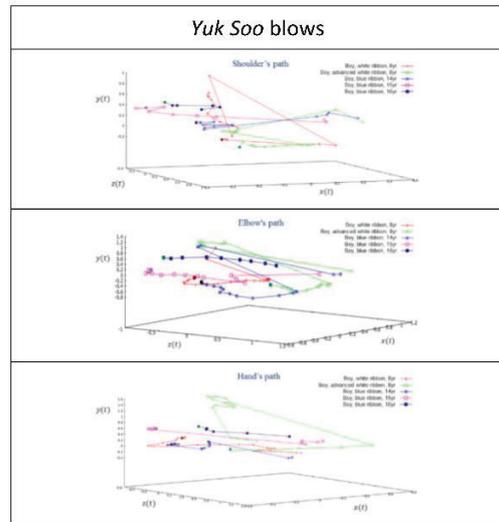


Fig. 4: Paths followed by the shoulder, elbow and hand of six *Tang Soo Do* amateurs performing *Sang Dan Soo Do* blows.

Finally, in a third phase the use of accelerometers was implemented and the set designed and the position of the markers for videography was improved [9].

### A. Kinematics (Artificial Vision)

Artificial vision was used for kinematics, which consisted of three video cameras and open source software.

Video cameras were set to cover least two orthogonal planes. The recording was made at 60 fps (maximum speed of the Sony HandyCam commercial camera).

During the evaluation, different types and positions of the markers were considered. Figure 5 shows the proposed camera arrangement and example in a *Dojo* blow.

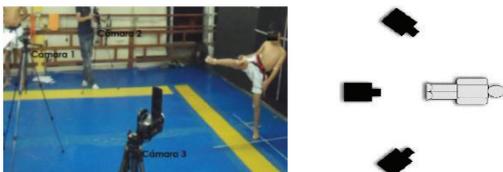


Fig. 5: proposed camera arrangement and example in a *Dojo* blow.

### B. Kinetics (accelerometers)

A set of accelerometers was used with LabVIEW and Arduino for kinetics. They use the triaxial accelerometer ADXL345 (Analog Devices), which can support up to 16g accelerations [7].

The accelerometers were placed at following points: distal radioulnar (wrist), humeral epicondyle (elbow) and clavicular acromion (shoulder), as shown in Figure 6. The sampling frequency was 60Hz, and "ad-hoc" programs for calibration and use were developed.



Fig. 6: Accelerometers and markers positions for evaluating the coup.

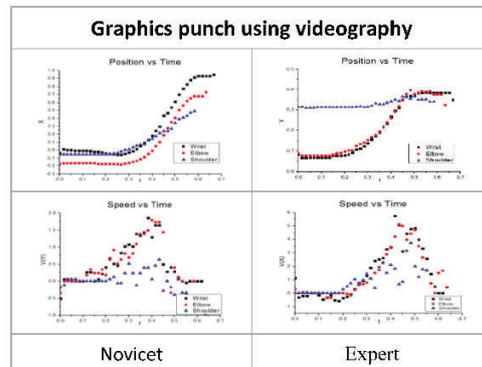


Fig. 7: Results obtained by videography for the performance of an expert and a novice.

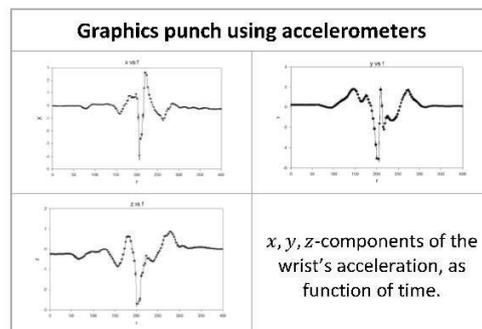


Fig. 8: Results obtained by using accelerometers considering wrist's movement.

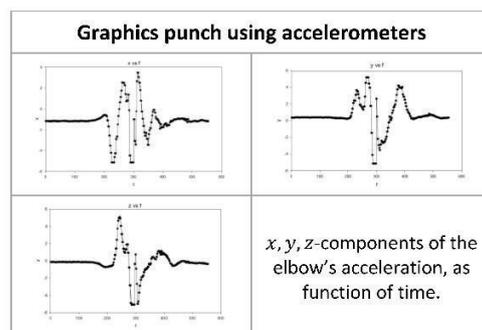


Fig. 9: Results obtained by using accelerometers considering elbow's movement.

## IV. CONCLUSIONS

- The trajectory of the strokes of each practitioner is similar, however for participants with experience, it was noted that this is more uniform and stable.
- The system and methodology proposed for the study of martial arts provides qualitative and quantitative data, and it is flexible as it can be transported to different places, not to mention that it's a low-cost implementation (common commercial chambers). The cost of accelerometer is approximately US\$20 for which it is planned to place accelerometers in strategic anatomical points, and one external, which will serve as a benchmark. This will apply techniques such as the direction cosines resulting tracking in the space of any point, as a result we could calculate rotations and other useful parameters in sports biomechanics.
- One of the disadvantages of the method of accelerometers is the connection because it limits the movement of the participant; this is due to the long cable, which is needed to maintain the connection. No overwhelms has considered the possible inclusion of a wireless system.
- Data from the sensors allow applying physical equations for speed and position is a reverse form of videography
- The proposed system should continue to be refined to achieve establish a low-cost methodology to provide relevant information to the coach and athlete.
- The methodology used allow us to distinguish a person who has never practiced martial arts from a martial arts practitioner regardless of the time it has practiced

## ACKNOWLEDGMENT

DAIP-UGTO 1, 146/2016 PAPIME PE104715  
PIFI 3.0/UNISON (2014 y 2015)

## CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that they have no conflict of interest.

## REFERENCES

1. Le Veau, Barney (1991) Biomecánica del movimiento. Editorial Trillas, México
2. Kapanji, A.I. (2012) Fisiología articular (Tomo 1). Editorial Médica Panamericana, México.
3. Griffin, Michael J (2012) Enciclopedia de la salud y seguridad en el trabajo. Editorial Chantal Dufresne, BA, España.
4. Delcole, Larry (1991). Manual del Tang Soo Do. WTSDA.
5. VideoPoint Fundamentals at <http://vpfundamentals.com>
6. VideoPoint Capture at <http://www.lsw.com/videopoint/capture>
7. ADXL345 Accelerometer Quickstart Guide at <https://www.sparkfun.com/tutorials/240>
8. Kerstin Witte, Peter Emmermacher, and Marion Lessau. Biomechanical Measuring Stations To Solve Practical Problems In Karate Sport, ISBS Conference 2008, July 14-18, 2008, Seoul, Korea
9. A. Kolahi, M. Hoviattalab, T. Rezaeian, M. Alizadeh, M. Bostan, and H. Mokhtarzadeh, "Design of a marker-based human motion tracking system," Biomedical Signal Processing and Control, vol. 2, no. 1, pp. 59 – 67, 2007.
10. Fernandes, FM., Wichi, RB., Silva, VF., Ladeira, APX. and Ervilha, UF. Biomechanical methods applied in martial arts studies. J. Morphol. Sci., 2011, vol. 28, no. 3, p. 141-144

Corresponding author:

Author: Roberto Pedro Duarte Zamorano  
Institute: Departamento de Física, Universidad de Sonora  
Street: Luis Encinas y Rosales S/N  
City: Hermosillo, Sonora  
Country: México  
Email: [roberto.duarte@fisica.uson.mx](mailto:roberto.duarte@fisica.uson.mx)

## Anexo 2. ¿Qué es Tracker?

Tracker es un programa gratuito de análisis de video y construcción de modelos, desarrollado en el ambiente Java del proyecto Open Source Physics (Física de Código Abierto), y está diseñado para ser usado en la enseñanza de la Física.

La modelación en video de Tracker es una nueva y poderosa forma de combinar videos y modelación en computadora.

### **Seguimiento de los marcadores con Tracker:**

- Seguimiento manual y automático de objetos con superposición de la posición, velocidad, y aceleración.
- Seguimiento del centro de masa.
- Gráficos de vectores interactivos y suma de vectores.
- Perfiles de líneas RGB en cualquier ángulo, regiones RGB dependientes en el tiempo.

### **Modelación:**

- La opción Model Builder crea modelos dinámicos y cinemáticos de partículas de masa puntual y sistemas de dos cuerpos.
- Animación de modelos externos y superposición de múltiples puntos de programas de modelación como planillas de cálculo y simulaciones.
- Las superposiciones de modelos son sincronizadas automáticamente y escaladas al video para una comparación directa con el mundo real.

### **Video:**

- El motor de video gratuito Xuggle despliega y graba muchos formatos (mov/avi/flv/mp4/wmv etc) en Windows/OSX/Linux.
- Filtros de video, incluyendo brillo/contraste, huellas fantasma, y desinterlaceado.

- Filtros de perspectiva que corrigen las distorsiones cuando los objetos son fotografiados en ángulo y no directamente.
- Filtro de distorsión radial corrige la distorsión asociada con los lentes ojo de pez.
- El apoyo en la exportación de videos permite el editar y cambiar la codificación de los videos, con o sin gráficos superpuestos, usando Tracker mismo.
- La opción Propiedades de Video muestra la dimensión del video, directorio, tasa de cuadros, número de cuadros, y más.

### **Generación de datos y análisis:**

- Escala fija o variable en el tiempo para el sistema de coordenadas, origen e inclinación.
- Múltiples opciones de calibración: cinta, medida, puntos de calibración, y/u origen corrido.
- Fácil cambio al sistema de referencia de centro de masa u otro.
- Varias herramientas para medir fácilmente la distancia y los ángulos.
- Herramienta de ajuste de círculos, ajusta círculos a tres o más puntos, pasos, o caminos.
- Variables adaptables por el usuario para graficado y análisis.
- Agrega columnas de texto editables para comentarios o datos ingresados manualmente.
- Poderosas herramientas de análisis de datos que incluyen ajuste de curvas manual o automático.
- Exportar datos en formato o crudos a un archivo de texto, o al borrador.
- Posibilidad de despliegue de valores medidos usando formatos numéricos ajustables.

### Anexo 3. Información de los marcadores empleados en la fase 3.

<b>Tipo de marcador</b>	<b>Característica y color</b>	<b>Color de fondo</b>	<b>Distancia cámara-Sujeto</b>	<b>Dificultad</b>
Etiqueta	Circular 1.9 cm de Diámetro Azul marino	Blanco/ Negro	2.5 m	El color de esta etiqueta por ser opaco impide visibilidad para ver el desarrollo del experimento al momento de filmar y de analizar con el software.
Etiqueta	Circular 1.9 cm de Diámetro Amarilla	Blanco/ Negro	2.5 m	El color de esta etiqueta se pierde en piel clara y resalta en piel morena, sin embargo dificulta la visibilidad en el momento de la grabación, y cuando se analiza con el software se complica el análisis, mientras que en piel morena se facilita un poco.
Etiqueta	Circular 1.9 cm de Diámetro Roja	Blanco/ Negro	2.5 m	El color de esta etiqueta se pierde en piel morena, pero su seguimiento se facilita tanto al momento de la grabación como de análisis con el software.
Etiqueta	Circular 1.9 cm de Diámetro Verde	Blanco/ Negro	2.5 m	El color de esta etiqueta es tan opaco como el azul marino sin embargo si es visible con ayuda del software, pero se pierde en la piel morena.
Etiqueta	Circular 0.6 cm de Diámetro	Blanco/ café	2.5 m	Al igual que la etiqueta verde fluorescente por ser tan pequeña se pierde, aparte los colores son los mismos que las etiquetas de 1.9 cm.

LED's	Normal jumbo roja	Negro	2.5 m	Deja una estela luminosa a lo largo de la trayectoria, y por ser todos los marcadores del mismo color se transponen sus haces provocando que el seguimiento de la articulación se dificulte sin embargo es más fácil detectar si un led está apagado y cansa menos la vista tanto al momento de la grabación como al momento de análisis en el software (ver figura 3.9).
LED's	Normal jumbo verde	Negro	2.5 m	Deja una estela luminosa a lo largo de la trayectoria y por ser todos los marcadores del mismo color se transponen haciendo el seguimiento de la articulación muy parecida al led blanco sin embargo no encandila ni al momento de la grabación ni en el análisis con la computadora sin embargo si este se apaga durante la grabación es difícil notarlo.
LED's	Normal jumbo amarillo	Negro	2.5 m	Deja una estela luminosa a lo largo de la trayectoria y por ser todos los marcadores del mismo color se transponen haciendo el seguimiento de la articulación muy parecida al led blanco y verde sin embargo no encandila ni al momento de la grabación ni en el análisis con la computadora se comporta un poco parecido al rojo sin embargo igual que el verde es difícil notar si este se apaga durante la grabación.

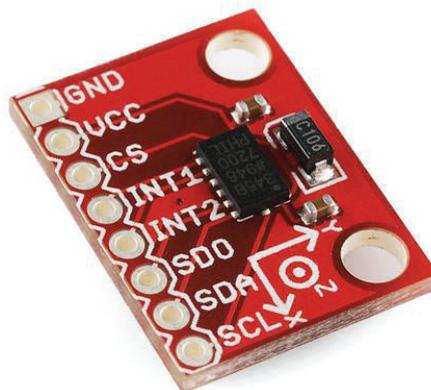
Pelotas de unicel partidas a la mitad	Tamaño de 3 cm de diámetro amarillo, rojo y verde	Negro	2.54m	Para colorear las bolas de unicel se utilizó pinturas textil es marca parisina, los colores elegidos y la combinación de ellos en las articulaciones facilitaron el momento de grabar permitían detectar si un marcador se caía o no antes de grabar, pero al momento de analizar con el software el problema que se presentó en este caso de la pintura verde dificulta la visibilidad en piel morena y la geometría de los medios círculos complica encontrar a la articulación al momento de puntear
Pelotas de unicel	Tamaño de 3 cm de diámetro amarillo,	Negro	2.54m	Para colorear las bolas de unicel se usó pintura de prescolar estos colores alternados permiten seguir los marcadores tanto al tiempo de filmar y al momento de analizar con el software. Es de importancia señalar que el hecho de ya no tener problemas con el métodos de sujeción se debe a que este se solucionó con los arneses y vestimenta de los sujetos de prueba descritas más adelante.

**Tabla 3.1. Marcadores probados para el método en la tercera fase.**



## Anexo 4. Características del Acelerómetro utilizado en el experimento.

El acelerómetro empleado es el modelo ADXL345 fabricado por Analog Devices Inc. Este acelerómetro de 3 ejes es pequeño, delgado, de muy baja potencia y con medición de alta resolución (13 bits) hasta  $\pm 16g$ . Los datos de salida digital se formatean como dos complementos de 16 bits y se pueden acceder a través de una interfaz digital del tipo SPI (de 3 o 4 hilos) o del tipo I<sup>2</sup>C.



El ADXL345 es muy adecuado para aplicaciones de dispositivos móviles. Mide la aceleración estática de la gravedad en aplicaciones de detección de inclinación, así como la aceleración dinámica resultante del movimiento o choque. Su alta resolución (3,9 mg/LSB) permite medir cambios de inclinación inferiores a 1.0°.

Los modos de baja potencia permiten un uso de energía basada en el movimiento inteligente, con detección de umbral y medición de aceleración activa con una disipación de potencia extremadamente baja.

### Características

- Bajo consumo de corriente: 23  $\mu A$  en modo de medición y 0.1  $\mu A$  en modo de espera.
- Operación de baja tensión: típico de 2.5V (2,0 V - 3,6 V)
- Alta sensibilidad (800 mV / g @ 1,5 g)
- Amplio rango de temperatura de operación (-40°C - +85°C)
- Detección de caída libre para autoprotección.
- Acondicionamiento de Señal con filtro de paso bajo

- Diseño robusto, que resiste golpes de hasta 10,000g
- Producto amigable con el ambiente (libre de plomo) y acorde con la restricción de sustancias peligrosas de la Unión Europea (RoHS).
- Bajo costo

## Bibliografía.

1. Gran Enciclopedia de los Deportes, Tomo 1, Editorial Cultural, S. A, España, páginas 191-232.
2. Le Veau, Barney "Biomecánica del movimiento". Editorial Trillas, México (1991).
3. Kapanji, Adalbert Ibrahim. "Fisiología articular" (Tomo 1). Editorial Médica Panamericana, México (2012).
4. Delcole, Larry. Manual del Tang Soo Do. WTSDA (1991).
5. Griffin, Michael J. "Enciclopedia de la salud y seguridad en el trabajo". Editorial Chantal Dufresne, BA, España (2012).
6. Witte, Kerstin; Emmermacher, Peter and Lessau, Marion. "Biomechanical Measuring Stations To Solve Practical Problems In Karate Sport". ISBS Conference 2008, July 14-18, 2008, Seoul, Korea
7. Kolahi A., Hoviattalab M., Rezaeian T., Alizadeh M., Bostan M. and Mokhtarzadeh H. "Design of a marker-based human motion tracking system," Biomedical Signal Processing and Control, vol. 2, no. 1, pp. 59 – 67, 2007.
8. Fernandes, FM., Wichi, RB. Silva, VF., Ladeira, APX. and Ervilha, UF. "Biomechanical methods applied in martial arts studies". J. Morphol. Sci., 2011, vol. 28, no. 3, p. 141-144
9. Información sobre el Software VideoPoint Fundamentals se puede consultar en <http://vpfundamentals.com>
10. Información sobre el Software VideoPoint Capture se puede consultar en <http://www.lsw.com/videopoint/capture>.
11. Guía rápida ADXL345 Accelerometer Quickstart Guide que se puede consultar en <https://www.sparkfun.com/tutorials/240> (revisado el 12 de Diciembre de 2016).
12. Documentación técnica del Acelerómetro ADXL345 se puede consultar en <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADXL345.pdf> (revisado el 12 de Diciembre de 2016).