

**PROTOCOLO DE ANÁLISIS DE MOVIMIENTO EN MIEMBRO SUPERIOR  
UTILIZANDO SISTEMAS MULTIMODALES**

**CRISTIAN DAVID PEREZ CORDOBA**

**Tutor**

**Ing. Leidy Esperanza Pamplona**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA**

**FACULTAD DE INGENIERIAS**

**DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA**

**PEREIRA – RISARALDA**

**2019**

## **AGRADECIMIENTOS**

En primera instancia quiero agradecer a mi familia y amigos que han estado brindándome su apoyo durante toda mi vida, y han hecho que pueda lograr esta meta que para mi vida es muy importante, en especial a Blanca Cordoba que es mi madre, pero además ha sido mi padre, amiga, consejera y que ha aportado demasiadas cosas positivas en mi vida, dando como resultado la culminación de esta etapa y así empezar un nueva meta.

Quiero también agradecer al grupo de investigación en ingeniería electrónica (GIIE) que me ha permitido mejorar como estudiante pero también como persona; este grupo que es liderado por los ingenieros Andrés Felipe Calvo, Arley Bejarano, Leidy Pamplona. Pertenecer a este grupo me ha servido para avanzar como joven investigador, sin olvidar que estas personas ayudaron y soportaron durante mi formación academica y por supuesto a mi proyecto investigativo.

## Tabla de contenido

1. Introducción -----	5
2. Formulación del problema -----	6-7
3. Justificación -----	8
4. Objetivos -----	8
4.1 Objetivo General -----	8
4.2 Objetivos Específicos -----	8-9
5. Marco Teórico -----	9
5.1 Biomecánica -----	9-13
5.2 Sensor de profundidad y entorno de programación LabVIEW-----	13-18
6. Marco Conceptual -----	18
6.1 Vectores y planos -----	18-21
6.2 Filtro de Media móvil (Moving Average (MA)) -----	21-22
7. Estado del Arte -----	22
7.1 Análisis de marcha -----	22-23
7.2 Rehabilitación y seguimiento de enfermedades -----	23-24
7.3 Reconocimiento de actividades -----	24-26
7.4 Análisis del miembro superior -----	26-27
8. Desarrollo Metodológico -----	27
8.1 Definición de las actividades a realizar -----	27-28
8.2 Creación base de datos -----	28-31
8.3 Calculo de los Ángulos -----	31-32

8.3.1	Calculo de ángulo Muñeca (Flexión – Extensión) -----	32-33
8.3.2	Calculo de ángulo Codo (Flexión – Extensión) -----	33-34
8.3.3	Calculo ángulos Hombro -----	34-38
8.4	Aplicación del filtro en la construcción de las gráficas -----	38-39
9.	Análisis de los Resultados -----	39
9.1	Análisis cuantitativo y cualitativo de las encuestas -----	39-41
9.2	Análisis grafico de las cinco actividades (tesis actual Vs tesis de maestría) --	41-50
9.3	Análisis grafico (miembro superior derecho Vs miembro superior izquierdo)-	50-55
10.	Conclusiones -----	56
11.	Bibliografía -----	57-59
12.	Anexos -----	59



## ***1. INTRODUCCIÓN:***

Actualmente la medicina ha buscado la manera de mejorar el análisis de los resultados y tratamiento de enfermedades que involucran el miembro superior por medio de los avances tecnológicos [7, 10,11]. Algunas de las patologías más comunes del miembro superior son el síndrome del túnel carpiano, epicondilitis lateral y medial, entre otras. Este tipo de enfermedades son frecuentes a nivel mundial debido al tipo de actividades que se realizan durante la jornada de trabajo. En Colombia se han realizado varios estudios con el fin de controlar el aumento en los desórdenes músculo esquelético (DME) mediante el desarrollo de guías y protocolos que permitan la prevención, la detección temprana, el tratamiento y la rehabilitación de los trabajadores [12, 13, 14].

La tecnología sirve como una herramienta útil en la práctica clínica para médicos y pacientes, además está involucrada en el proceso de atención de diversas maneras. Actualmente la medicina basada en la evidencia hace necesaria la creación de bases de datos que permitan computar información de manera eficiente con el fin de desarrollar sistemas de medida que permitan valorar de forma objetiva los diagnósticos médicos y tratamientos instaurados. El análisis de movimiento en miembro superior busca precisamente objetivar las apreciaciones de médicos, pacientes y familiares en cuanto las dificultades para realizar actividades de la vida diaria, la marcha y arcos de movimiento en general.

El análisis de movimiento de miembro superior es particular, en cuanto que las funciones de este son múltiples y no pueden resumirse en una sola actividad como puede hacerse con la marcha para los miembros inferiores. Por esta razón, antes de plantear un estudio con pacientes y establecer diagnósticos por medio de un análisis de movimiento de miembro superior, debe establecerse y estandarizarse un protocolo del procedimiento para asegurarse de obtener resultados reproducibles de calidad, objetividad y utilidad clínico- quirúrgica.

## 2. **FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

El análisis y estudio del miembro superior ha adquirido una gran importancia a nivel laboral debido al incremento de enfermedades profesionales relacionados con el trabajo a nivel mundial, específicamente en los desórdenes músculo esqueléticos (DME), afectando dos segmentos corporales entre ellos el miembro superior; estas enfermedades son generadas más que todo por la repetición de movimientos, aplicación de fuerza manual y al recibir vibraciones en una parte o en todo el cuerpo en toda la jornada laboral[12, 13,14], y a nivel clínico en procesos de pos-operación, rehabilitación y avance de enfermedades[1, 2, 4, 5].

En Colombia en 2006, el Ministerio de la Protección Social junto con la Universidad Javeriana desarrollaron cinco guías de Atención Integral de Salud Ocupacional, donde se emiten recomendaciones para la prevención, detección precoz, tratamiento y rehabilitación de los trabajadores en riesgo de sufrir o afectados por las enfermedades profesionales de mayor frecuencia en el país como el síndrome del túnel carpiano (STC), la enfermedad de Quervain y las epicondilitis lateral y medial, las cuales tienden a incrementarse, pasando de representar el 65% durante el año 2.001 a representar el 82% de todos los diagnósticos realizados durante el año 2.004. Para el diagnóstico de los DME de miembros superiores requieren una evaluación médica especializada o de manejo quirúrgico según sea el caso del paciente, donde pueden requerirse ayudas diagnósticas como rayos X, TAC, RM, electro-diagnóstico o laboratorio clínico [12].

Según el Departamento Nacional de Planeación, la manufactura es una actividad económica que requiere incrementar su productividad constantemente, para lo cual es importante la estabilidad de salud en los trabajadores, para lo cual la Universidad Nacional de Colombia financiada por Positiva (Compañía de Seguros ARP) a través del Laboratorio de Ergonomía y Factores Humanos desarrolla unos protocolos para la prevención del DME de miembro superior y de espalda en actividades de manufacturas, que consiste en la identificación de los eventos asociados ocupacionales (riesgos laborales) y no ocupacionales (aspectos de la vida diaria), la elaboración y ejecución de unos planes de control y retroalimentación del proceso mediante indicadores de seguimiento [13].

Entonces, el estudio del movimiento del miembro superior es importante a nivel médico e investigativo, ya que permite controlar la progresión de enfermedades, los resultados posoperatorios de procedimientos nuevos, y procesos de rehabilitación; sin embargo, es difícil

objetivar estos resultados ya que se determinan de manera cuantitativa, es decir, que la medición y observación de los movimientos de hombro (Rotación interna y externa, Abducción - Aducción, Flexión-extensión, Protrusión retracción, Circunducción), codo (Flexión y extensión) y muñeca (Pronosupinación, Flexo-extensión, y Desviación radial – cubital) son subjetivas y difíciles de medir con escalas funcionales como el DASH [5], que se utiliza para medir la capacidad de un paciente en realizar ciertas actividades [15].

Entonces, la evaluación precisa del movimiento del miembro superior en cuanto al manejo de las patologías es importante con el fin de objetivar los resultados de manera cuantitativa, por medio algún instrumento de medición. Actualmente existen varios sistemas estándares utilizados para hacer la captura del movimiento de las articulaciones como el Vicon, Optrack, Mocap, trakSTAR [4, 6, 9, 11]; sin embargo, la utilización de estos sistemas son costosos, ya que requieren de unas condiciones específicas, además de que son invasivos con el paciente, por lo que se necesitan profesionales capacitados tanto para el análisis de movimiento tridimensional convencional y en el manejo de las herramientas de evaluación clínica, por lo cual se toma bastante tiempo realizar estas mediciones en una sola persona, sin tener en cuenta que el paciente debe viajar a la clínica o de laboratorio para realizar el examen. Por lo que se hace necesario utilizar un sensor que sea portable y de bajo costo para realizar la captura de estos datos [1, 5, 6, 8, 16].

En algunos estudios se ha examinado la posibilidad de utilizar el sensor de Microsoft Kinect® como portable, de bajo costo, para la medición de los movimientos de ciertas articulaciones del cuerpo humano [2, 3, 4, 6, 8] obteniendo buenos resultados comparables con algunos sistemas estándares Gtreck, Optrack, Track, entre otros, pero es importante tener en cuenta las limitaciones que tiene este sensor en precisión y exactitud en la realización de ciertos movimientos presentando problemas de oclusión [6].

Por lo tanto, es necesario la creación de un estándar que proporcione la base para el análisis de movimiento en el miembro superior, el cual cumpla con los requerimientos internacionales desarrollados hasta el momento, permitiendo a los médicos e investigadores controlar la progresión de las enfermedad de esta patología, así como la respuesta de una intervención quirúrgica, el proceso de rehabilitación y terapia física, y la evaluación en la ejecución de los movimientos por parte del paciente.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

Es claro que en Colombia poder solicitar una cita para ver a un especialista es muy difícil especialmente para las personas de clase media o baja [17]; actualmente en el país se presentan distintas lesiones en el miembro superior debido a las actividades repetitivas que conllevan a enfermedades como el Síndrome del Túnel Carpiano (STC), la epicondilitis lateral [18]. Es debido a esto se propone generar un diagnóstico que permita observar la evolución del paciente desde su proceso de rehabilitación o proceso postquirúrgico para determinar su estado, y así construir un protocolo que de paso a realizar la medición de los ángulos desde distintos movimientos tales como: abducción- aducción, flexión-extensión, protrusión-retracción. De igual manera permitirá al traumatólogo analizar estos tipos de movimientos y mirar si el paciente está recuperado o si todavía presenta una lesión. Sin embargo actualmente existen varios sistemas para hacer la medición como lo es el goniómetro que a pesar de ser un instrumento muy sencillo y fácil de utilizar sus resultados tienden a ser subjetivos; a su vez existen otras herramientas tal es el moca pero resultan ser de un alto costo al momento de implementarla. Por lo tanto se hace necesario crear una herramienta con un protocolo que ayude a realizar estas mediciones, por lo que se propone utilizar un sensor de profundidad como el Kinect que facilitara determinar los rangos de normalidad para los ángulos del miembro superior y de esta manera determinar un análisis más eficiente del miembro superior lo que conllevara a tomar decisiones por parte del especialista respecto al estado del paciente.

### **4. LOS OBJETIVOS:**

#### ***4.1 Objetivo General***

Crear el protocolo de análisis de movimiento en miembro superior utilizando la información provista por sensores de profundidad bajo los estándares en pacientes sanos.

#### ***4.2 Objetivos Específicos***

1. Desarrollar una metodología para la creación de una base de datos anotada con pacientes sanos, donde se utilice sensores de profundidad.
2. Desarrollar una metodología para el cálculo y análisis de los ángulos del miembro superior utilizando los datos provistos por el sensor.

3. Comparar resultados con bases de datos de normalidad.
4. Validar estadísticamente el protocolo de análisis de movimiento en miembro superior.

## **5. MARCO TEORICO**

### **5.1 Biomecánica**

El cuerpo humano ha sido construido para moverse mediante la utilización y acción de ciertas estructuras de sostén como huesos, articulaciones y músculos, y este movimiento puede tomar muy variadas y complicadas formas. Debido a esto se ha desarrollado una nueva disciplina, la biomecánica, que estudia la mecánica y los rangos del movimiento humano.

Es una ciencia que es entendida como un conjunto de conocimientos obtenidos a través del estudio de los sistemas biológicos, centrado en este caso en el cuerpo humano. Desde un punto de vista muy simplista a la biomecánica le interesa el movimiento del cuerpo humano y las cargas mecánicas y energías que se producen en ese movimiento.

Esta área interdisciplinaria permite una mejor comprensión de las actividades y ejercicios, así mismo interviene en la prevención de lesiones, mejora del rendimiento, describe y mejora la técnica deportiva, además de desarrollar nuevos materiales para la rehabilitación.

A pesar de las distintas clasificaciones que se le han podido dar a la biomecánica, esta engloba tres grandes áreas como lo son la Biomecánica (médica), la cual se encarga del diseño de sistemas para el mejoramiento de determinados sistemas motores del hombre; la Biomecánica especializada en el área ocupacional y en el área deportiva, el cual estudia los movimientos del hombre en el proceso de los ejercicios físicos. Además analiza las acciones motoras del deportista como sistemas de movimientos activos recíprocamente relacionados. En ese análisis se investigan las causas mecánicas y biológicas de los movimientos y las particularidades de las acciones motoras que dependen de ellas en las diferentes condiciones (campo de estudio).

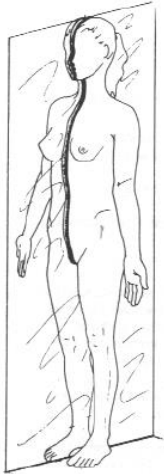
### **Articulaciones**

Las articulaciones son estructuras que tienen como propósito mantener conectados los huesos y permaneciendo juntos estos por medio de los ligamentos y los músculos. La dirección y el grado de movimiento dependen de forma de las superficies de la articulación; por ejemplo Articulaciones con función de bisagra simple con movimiento en un solo plano (dedos, codo, rodillas);

Articulaciones que permiten efectuar movimientos en dos planos (muñeca o tobillo);  
Articulaciones tipo esfera y cuenca, que permiten un gran rango de movimientos (cadera y hombro)  
[16].

Los planos se pueden clasificar en:

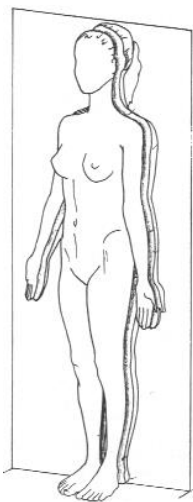
**Plano Medio Sagital:** Es el plano que divide imaginariamente al cuerpo en sentido antero posterior a lo largo de la línea media y lo divide en dos partes iguales, derecha e izquierda.



Un movimiento en plano sagital que desplaza la región del cuerpo hacia delante de la posición anatómica se llama **flexión**, esto quiere decir que al desplazarse hacia atrás se le denomina extensión [19].

Figura No 1. Plano sagital.

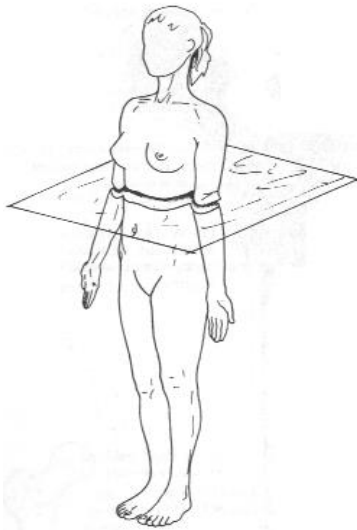
**Plano Frontal:** Es un plano vertical que pasa a través del cuerpo formando un ángulo recto (de 90°) con el plano medio y divide imaginariamente al cuerpo en dos partes, la anterior o facial y la posterior o dorsal.



Un movimiento en plano frontal que desplaza una región del cuerpo hacia la línea media del cuerpo se llama **aducción**, pero cuando se desplaza lejos de la línea media del cuerpo se le denomina **abducción** [19].

Figura No 2. Plano frontal.

**Plano Horizontal:** Es el plano que divide al cuerpo o cualquier parte de él en dos mitades, superior o cefálica e inferior o caudal.



Un movimiento en plano horizontal que desplaza una parte del cuerpo hacia afuera se llama **rotación externa**, pero cuando se desplaza hacia adentro se le denomina **rotación interna** [19].

Figura No 3. Plano Horizontal o transversal.

### **Amplitud de las Articulaciones.**

La amplitud del movimiento de una articulación está determinada por una serie de estructuras fibrosas conocidas como ligamentos, que conectan la cápsula de la articulación con los músculos y tendones vecinos.

Los grados de amplitud de las articulaciones son medidos a través de un goniómetro y comparando estos datos a tablas de medidas existentes se determinara el grado de la amplitud, las conclusiones a las que se lleguen con estas mediciones pueden tener un margen de error debido a varios motivos.

### **Ejes del Cuerpo Humano.**

Los ejes en el ser humano pueden ser conceptualizados como líneas imaginarias que atraviesan el cuerpo y ayudan a describir y a comprender mejor la ejecución de los movimientos, los mismos pueden ser divididos o agrupados en tres secciones.

**Eje Cefalopodal:** es el más largo del cuerpo, se representa por una línea imaginaria que va desde las vértebras cervicales al centro de las superficies de apoyo formadas por los pies ubicado perpendicularmente al plano horizontal, estando el sujeto de pie con las extremidades inferiores unidas.

**Eje Anteroposterior:** Es una línea imaginaria perpendicular al tórax (plano frontal) que lo atraviesa de adelante hacia atrás.

Eje Transversal: Es una línea imaginaria que atraviesa de lado a lado en forma perpendicular al plano sagital.

La acción de moverse resulta gracias a la interacción de muchos componentes, los cuales poseen, sin duda, sus características propias. Siendo un movimiento un acto tan complejo, se hace necesaria la existencia de una ciencia que determine que componentes deben tomarse en cuenta para un análisis del punto de vista de la dinámica. Esta ciencia corresponde a la Biomecánica.

### **Miembro superior**

Sistema Óseo:

La Cintura Escapular está formada por las escápulas y las clavículas. Cada clavícula se articula con la escápula hacia lateral y con el manubrio del esternón hacia medial. El húmero es el hueso del brazo; se articula con la escápula por arriba y con los huesos del antebrazo, cúbito y radio, por abajo. El radio se articula con los huesos del carpo, o muñeca.

### **Artrología:**

La articulación Glenohumeral (articulación del hombro). Es una enartrosis extensa y muy móvil entre la cavidad glenoidea de la escápula y la cabeza del humero; la articulación esternoclavicular. Está formada por la extremidad interna de la clavícula, el esternón y el primer cartílago costal, con base de los movimientos que se efectúan se puede considerar una enartrosis, otras articulaciones que encontramos dentro de lo que se denomina cintura Escapular son: suprahumeral, acromioclavicular, escapulotoraxica, costo esternal y costovertebral.

### **Movimientos del Hombro:**

Los movimientos en esta articulación son abducción y aducción, flexión y extensión, circunducción y rotación. La articulación del hombro tiene mayor libertad y amplitud de movimiento que cualquier otra articulación, en gran parte debido a los movimientos escapulares que por lo general acompañan a los movimientos en la articulación del hombro.

### **Movimientos del codo**

El codo se considera una bisagra en la articulación con el cubito. El radio presenta además de la capacidad de flejar y extender, la capacidad de rotar sobre su propio eje.

### **Movimientos de la muñeca**

La muñeca fleja extiende, se desvía radial, cubital y además prona y supina. El movimiento complejo de la muñeca. La pronosupinación es el resultado de la rotación que hace el radio sobre



el cubito y su normal desarrollo depende de la integridad de la articulación del codo, el antebrazo y de la muñeca.

### **Fisiología articular hombro**

Está compuesto de varias articulaciones que a su vez contribuyen a ser la articulación más móvil del cuerpo humano.

1. Eje transversal Incluido en el plano frontal, permite los movimientos flexión – extensión, en el plano sagital.
2. Eje anteroposterior Incluido en el plano sagital, permite los movimientos abducción y aducción.
3. Eje Vertical Determinado por la intersección del plano frontal y sagital. Permite los movimientos flexión y extensión en el plano horizontal. (Brazo en abducción a 90°).

### **Articulaciones**

La articulación Esternoclavicular es una Articulación en silla de montar: la clavícula es cóncava y el esternón convexo. Con varios componentes que le dan estabilidad y es el fulcro para movilidad de la extremidad. La articulación consta de una cápsula laxa poco resistente.

La articulación acromio clavicular siendo importante todo el complejo ligamentario para estabilidad y ejes de movimiento por ejemplo el Conoides: sirve como el eje para movilidad de rotación y el Trapezoide como bisagra para el movimiento de la escapula en el eje horizontal.

La articulación gleno-humeral: Anatómicamente tiene un ángulo de 135 grados. (Angulo entre la cabeza y el cuello quirúrgico) [16].

### **Fisiología articular de muñeca**

Pese a que su movilidad es más limitada que el hombro sus componentes estabilizadores ligamentarios son más complejos dado el número de huesos que componen el carpo, Flexión y extensión de 85 grados, Flexión: 2/3 radiocarpiana. Extensión: 2/3 mediocarpiana. La movilidad es rotacional. Flexo- extensión fisiológica de la articulación mediocarpiana; Primera fila del carpo mayor rotación escafoides, posterior semilunar y por ultimo piramidal. La complejidad biomecánica de la muñeca escapa al propósito de esta revisión.

## **5.2 Sensor de profundidad y entorno de programación LabVIEW**

### **Captura de visión Kinect**

Kinect es un dispositivo lanzado en 2010, desarrollado por PrimeSense y distribuido por Microsoft para la videoconsola Xbox 360. Su apariencia se muestra en la Figura 4. Kinect es un dispositivo de control por movimiento creado originalmente para jugar sin necesidad de ningún mando o

controlador para interactuar con el cuerpo en el videojuego mediante una interfaz natural de usuario que reconoce gestos, comandos de voz e imágenes [20].



Figura No 4. Sensor Kinect Xbox-360 de Microsoft.

Para el año 2013 es lanzado el nuevo Xbox-One junto con el Kinect (véase en la figura z), esta nueva consola trae muchas mejoras graficas además de mejorar la herramienta Kinect; Este dispositivo cuenta con algunas características mejoradas que permiten un óptimo procesamiento de imágenes, además de ilustrar hasta 25 puntos articulados del cuerpo humano, a continuación en la figura 5 se presentan las características del Kinect V1 (Xbox-360) y el Kinect V2 (Xbox-One).

Capacidad	Kinect V1	Kinect V2
<b>Video</b>	640×480 @30 fps 1280×960 @12 fps *se denomina ColorStream	1920×1080 @30 fps High Definition *Se denomina ColorSource
<b>Profundidad</b>	*320×240, 640×480 *Distancias 0.8 a 4 metros en modo default. *Distancias de 0.4 a 3 metros en modo cercano (Near mode)	*512×424 *Distancias 0.5 a 4.5 metros *Existen pruebas con firmware no liberado aún que permiten hasta 8 metros
<b>Rastreo del cuerpo</b>	*Capacidad para detectar 6 personas, pero solo dos se pueden rastrear completamente *Por cuerpo rastreado, capaz de identificar 20 articulaciones  *Se denomina Skeletal stream	*Capacidad para detectar 6 cuerpos, todos completamente rastreados.  *Por cuerpo rastreado, capaz de identificar 25 articulaciones  *Se denomina BodySource

Figura 5. Características del Kinect V1 y V2.

## PROCESAMIENTO DE IMAGENES

El procesamiento de imágenes tiene como objetivo principal, mejorar imágenes, detalles, segmentaciones o aspectos que se pueden modificar a través de una computadora; el Kinect tiene una particularidad en su procesamiento de imagen y es que al momento de ilustrar al usuario los

puntos articulados del cuerpo humano, utiliza un algoritmo que se subdivide en dos algoritmos más, tales son el mean shift y el random decisión forest.

### **Mean shift**

Mean Shift es un proceso iterativo de punto fijo que converge a un máximo local, donde en cada iteración se estima el gradiente normalizado de la función de densidad en el punto correspondiente a cada paso. Aplicado varias veces desde diferentes puntos de partida, se pueden encontrar las modas de la densidad; es decir las zonas en las que hay una mayor densidad de datos [21,22].

Sin embargo al utilizar el Kinect lo que hace el algoritmo es estimar los puntos correspondientes a las propuestas finales de las articulaciones de cada parte del cuerpo. Mean shift utiliza las probabilidades de clasificación de los píxeles y desplaza la ventana hacia el punto donde se tengan los mayores porcentajes de clasificación. Con este algoritmo es posible ignorar aquellos puntos fuera de lugar que pueden dañar la estimación final de la articulación.

El algoritmo es aplicado en cada parte del cuerpo; como posición inicial para la ventana del algoritmo se utiliza el promedio de los puntos cuyo porcentaje de clasificación sea mayor a un valor de umbral aprendido, esto garantiza que el algoritmo comience en una zona que converge en una buena solución, en la figura 6 se ilustra la aplicación de mean shift sobre una imagen.

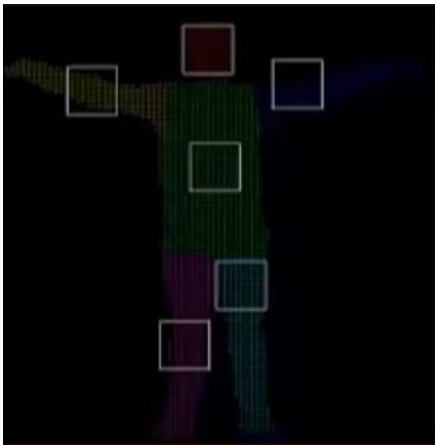


Figura No 6. Mean shift sobre una imagen clasificada.

Una vez obtenidos los puntos de las imagen correspondientes a cada articulación con sus respectivos valores de profundidad, es necesario obtener la posición en el espacio 3D de los mismos para obtener los puntos finales del esqueleto, para ello se realiza la transformación de los parámetros intrínsecos, encargados de definir el modelo de distorsión de los lentes y el modelo de geometría de la cámara, a partir de la cual se obtienen las coordenadas (X,Y,Z) es espacio

euclidiano de las articulaciones del esqueleto, en la figura 7 se observa el esqueleto con los puntos articulados [21].

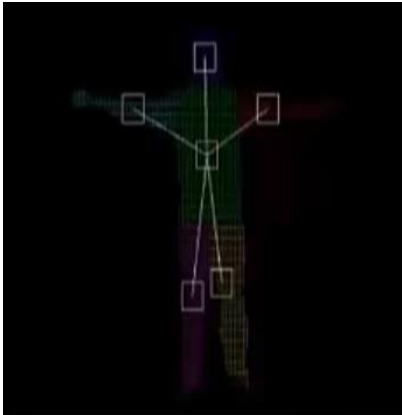


Figura No 7. Esqueleto sobre imagen clasificada.

Básicamente este algoritmo se puede reducir en los siguientes pasos:

1. Elija un tamaño de ventana de búsqueda
2. Elija la ubicación inicial de la ventana de búsqueda
3. Calcular la ubicación media (centroide de los datos) en la ventana de búsqueda
4. Centrar la ventana de búsqueda en la ubicación media calculada en el Paso 3
5. Repita los pasos 3 y 4 hasta la convergencia.

El algoritmo de cambio medio (mean shift) busca el modo, es decir, el punto de mayor densidad de una distribución de dato [22].

### **Random decisión forest.**

Random Forest es un algoritmo de aprendizaje supervisado. Como ya se puede ver en su nombre, crea un bosque y lo hace de alguna manera aleatorio. El "bosque" que construye, es un conjunto de árboles de decisión, la mayoría de las veces entrenados con el método de "embolsado". La idea general del método de embolsado es que una combinación de modelos de aprendizaje aumenta el resultado general.

Para decirlo en palabras sencillas; el bosque aleatorio crea múltiples árboles de decisión y los combina para obtener una predicción más precisa y estable. Una gran ventaja del bosque aleatorio es que se puede usar tanto para problemas de clasificación como de regresión, que forman la mayoría de los sistemas actuales de aprendizaje automático. Hay uno muy importante que es sobre el bosque definido al azar en la clasificación, ya que la clasificación a veces se considera el

componente básico del aprendizaje automático. En la figura 8 se observa cómo se vería un bosque al azar con dos árboles.

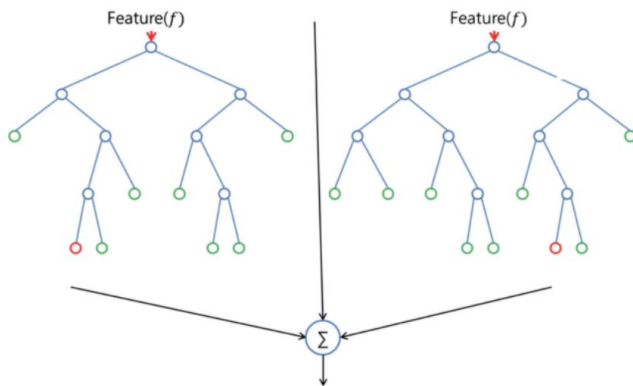


Figura No 8. Random Decision Forest con dos árboles.

Random Forest agrega aleatoriedad adicional al modelo, mientras crecen los árboles. En lugar de buscar la característica más importante al dividir un nodo, busca la mejor característica entre un subconjunto aleatorio de características. Esto da como resultado una amplia diversidad que generalmente resulta en un mejor modelo [23].

### SOFTWARE LABVIEW

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) creado por National Instruments en 1976, es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico. El logotipo del programa se muestra en la Figura 9. Debido a su potente lenguaje un lema tradicional de Labview es "La potencia está en el Software".



Figura No 9. Logotipo de LabVIEW.

Permite el desarrollo de programas informáticos complejos facilitando al mismo tiempo la programación y en consecuencia disminuir los plazos de desarrollo. Gracias a sus librerías de funciones dedicadas a la adquisición de datos, la instrumentación, al análisis matemático de las

medidas y la visualización, LabVIEW se dedica especialmente a los sistemas de prueba y medida. Desde realizar medidas simples de temperatura hasta controlar el acelerador de partículas más grande del mundo, los ingenieros y científicos utilizan la plataforma de diseño gráfico de sistemas NI LabVIEW para resolver una amplia variedad de retos en aplicaciones.

LabVIEW consigue combinarse con todo tipo de software y hardware, tanto del propio fabricante (tarjetas de adquisición de datos, Visión, instrumentos) y otro Hardware como de diferentes fabricantes [20].

## 6. MARCO CONCEPTUAL

### 6.1 Vectores-Planos

Un vector es una expresión geométrica que se extiende desde un punto de referencia llamado origen, hacia otro punto que se denomina extremo. Este concepto hace referencia a la idea de desplazamiento desde un espacio inicial a un espacio final. Los vectores se definen con los puntos que ocupan su origen y extremo en los ejes de coordenadas, estos se encuentran definidos por los componentes de módulo, dirección, sentido y punto de aplicación [25]. A continuación se abarcaran conceptos fundamentales de los vectores.

#### Resta de vectores

La definición de resta se establece por la creación de un nuevo vector formado por la diferencia entre dos puntos, en este caso los puntos de A y B, en donde A lo constituye un vector **a** y B lo constituye un vector **b**; la diferencia o resta de estos dos vectores se ilustra en la figura 10. {Observe que la regla de punta a origen aplicada a este diagrama produce la ecuación  $\mathbf{a} + (\mathbf{b} - \mathbf{a}) = \mathbf{b}$ . Si accidentalmente dibujara  $\mathbf{b} - \mathbf{a}$  con su punta en A en lugar de en B, el diagrama se leería  $\mathbf{b} + (\mathbf{b} - \mathbf{a}) = \mathbf{a}$ , ¡que claramente está equivocado! [24].

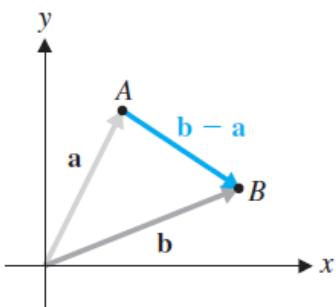


Figura No 10. Vector formado por dos puntos.

## Suma de vectores

Para lograr sumar dos vectores se utiliza la regla de oro llamada “regla del paralelogramo” que consta de trazar por el extremo cada vector una paralela al otro observado en la figura 13, es decir, colocando como ejemplo la figura 11 el cual consta de dos vectores ( $\mathbf{u}$  y  $\mathbf{v}$ ); Al trasladar  $\mathbf{u}$  y  $\mathbf{v}$  paralelos a ellos mismos, se obtiene un paralelogramo, como se muestra en la figura 12. Este paralelogramo se llama paralelogramo determinado por  $\mathbf{u}$  y  $\mathbf{v}$ . Ello conduce a una versión equivalente de la regla punta a origen para vectores en posición estándar [24].

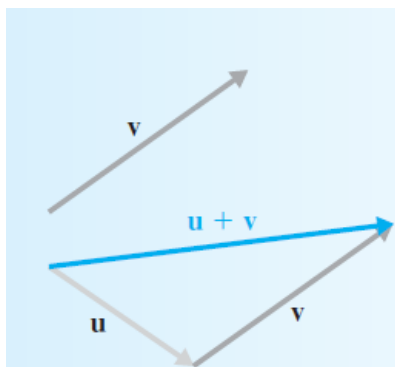


Figura No 11. Suma de dos vectores.

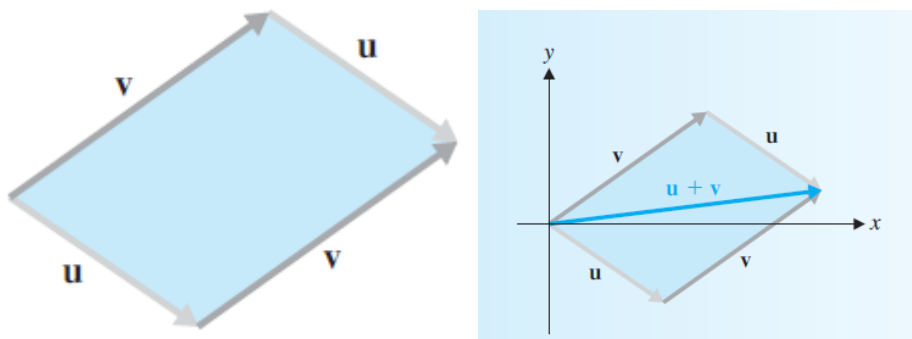


Figura No 12. El paralelogramo determinado por  $\mathbf{u}$  y  $\mathbf{v}$ .

Sea  $P = (0,3,1)$ ,  $Q = (1,2,4)$  y  $R = (10,1,6)$ . Entonces

$$\vec{OR} = \vec{OP} + \vec{PQ} + \vec{QR}.$$

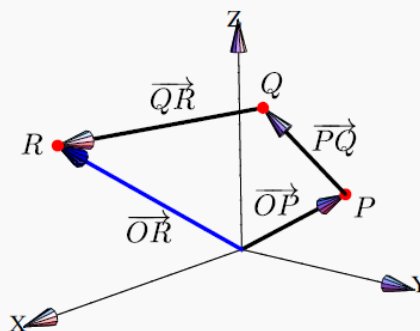


Figura No 13. Suma de vectores.

## Planos Vectoriales

### Plano en $R^3$

El Plano es un conjunto de puntos  $P$  en  $R^3$  que tiene un punto de paso  $P_0$  y dos vectores  $\vec{a}$ ,  $\vec{b}$  no paralelos en  $R^3$  tal que  $P = \{P \in R^3 / P = P_0 + r\vec{a} + s\vec{b}; r, s \in R\}$  [24], véase también en la figura 14.

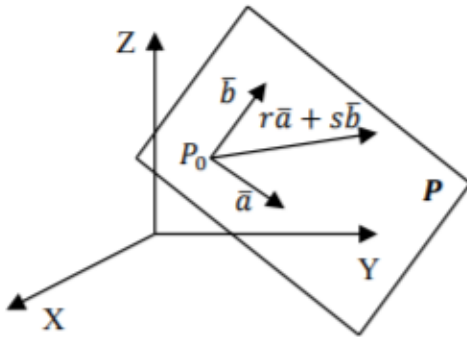


Figura No 14. Plano  $P$  en  $R^3$  con punto de paso  $P_0$  y vectores generadores.

### Calculo de un punto en un plano

Todo plano  $P$  en  $R^3$  puede determinarse al especificar un punto  $\mathbf{p}$  sobre  $P$  y un vector distinto de cero  $\mathbf{n}$  normal a  $P$  (figura 15). Por ende, si  $\mathbf{x}$  representa un punto arbitrario sobre  $P$ , se tiene que  $\mathbf{n} \cdot (\mathbf{x} - \mathbf{p}) = 0$  o  $\mathbf{n} \cdot \mathbf{x} = \mathbf{n} \cdot \mathbf{p}$ .

Si  $\mathbf{n} = \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix}$  y  $\mathbf{x} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$ , entonces, en términos de componentes, la ecuación se convierte en  $ax + by + cz = d$  (donde  $d = \mathbf{n} \cdot \mathbf{p}$ ) [24].

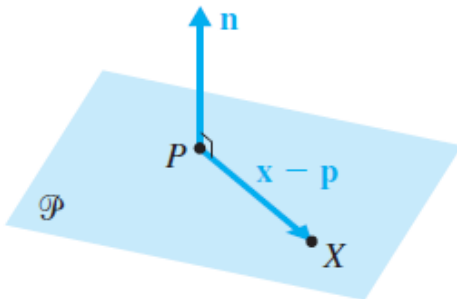


Figura No 15.  $\mathbf{n} \cdot (\mathbf{x} - \mathbf{p}) = 0$ .

### Calculo de un vector normal a un plano

Además de calcular la ecuación de un plano a partir de dos puntos, es muy importante conocer como a partir de dos vectores se logra obtener un vector normal a un plano, en base a esto se afirma que un vector normal al plano II. Si  $\vec{N}$  es perpendicular al plano II entonces  $P, Q \in II$  si y solo si  $\vec{N} \perp \vec{PQ}$ , en la figura 16 se observa lo dicho anteriormente [25].



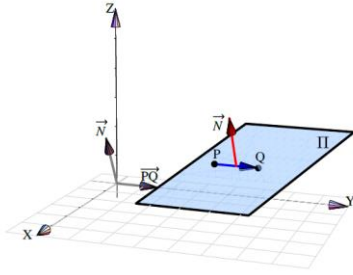


Figura No 16. Vector normal a un plano a partir de P y Q.

En la figura 17 muestra como al tener tres puntos en un espacio ya sean  $P, Q, R \in \Pi$ , se puede calcular un vector normal al plano  $\Pi$  y se realiza de la siguiente manera  $\vec{PQ} \times \vec{PR}$  [25].

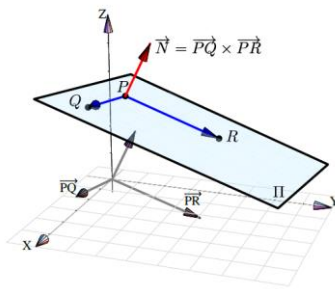


Figura No 17. Vector normal a un plano  $\Pi$  dado por tres puntos (P, Q, R) y dos vectores.

## 6.2 Filtro de Media móvil (Moving Average (MA)).

El filtro de media móvil o Moving Average es un simple filtro FIR de paso bajo (respuesta de impulso finito) comúnmente utilizado para regular una serie de datos / señales muestreados. Toma  $M$  muestras de entrada a la vez y toma el promedio de esas para producir un solo punto de salida. A medida que aumenta la longitud del filtro, aumenta la suavidad de la salida, mientras que las modulaciones bruscas en los datos se hacen cada vez más contundentes; entre los principales MA están los Gaussianos, Blackman y MA de múltiples etapas [31]. En la figura 18 se ilustra el algoritmo que posee este filtro, en la figura 19 se observa una señal cuadrada en la cual se le aplica el filtro MA realizando una modificación en “ $n$ ” (de la formula).

$$\begin{aligned} \bar{p}_{SM} &= \frac{p_M + p_{M-1} + \dots + p_{M-(n-1)}}{n} \\ &= \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} p_{M-i} \end{aligned}$$

Figura No 18. Formula del filtro de media móvil (algoritmo simplificado).

### Respuesta del filtro MA:

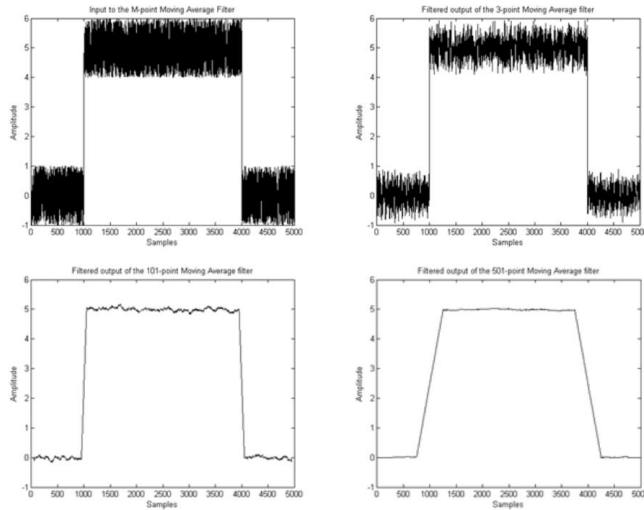


Figura No 19. Aplicación del filtro de media móvil.

## 7. ESTADO DEL ARTE

Muchas de las investigaciones en el análisis de movimiento se han enfocado en examinar el comportamiento del sistema neuro-musculo-esqueleto [26] para el análisis clínico, tratamiento y rehabilitación de ciertas enfermedades neurológicas y trastornos ortopédicos [26, 1, 2] por medio del seguimiento y monitoreo de la información. A continuación se muestran algunas de las contribuciones para el análisis de movimiento de ciertas enfermedades, procesos de rehabilitación y reconocimiento de actividades especificando la metodología y los sistemas de captura utilizados.

### 7.1 Análisis de marcha

En [3, 27] realizan el análisis de marcha utilizando como sensor la cámara de Microsoft Kinect y Microsoft Kinect V2 respectivamente para adquirir los puntos articulados del cuerpo y hacer una validación de estos datos con otros sistemas estándares. En [3] se realiza este análisis con 25 niños sanos utilizando los datos adquiridos con dos Kinect (uno en posición frontal con respecto a la persona y el otro observando la pasarela) para el seguimiento del esqueleto del niño mientras camina, para lo cual se utilizan varios métodos de segmentación temporal para la estimación de cuántos ciclos de pasos de la derecha y la izquierda están presentes y cuando empieza y termina cada uno de estos, es decir, cuando se da el golpe del talón y el despliegue de los dedos. Para comparar y evaluar la exactitud y precisión del ciclo de marcha del Kinect y del GAITRite (Sistema que tiene una pasarela con una rejilla de sensores) se realiza un análisis estadístico utilizando el

sesgo de Bland-Altman, límites de concordancia (LOA), correlación de Pearson ( $\rho$ ), concordancia del coeficiente de correlación (CCC), correlación intra-clase (ICC), donde se obtiene una buena validación concurrente del Kinect ( con  $\rho > 0,9$ ,  $CCC > 0,8$ , ( $ICC > 0,9$ )) contra el GAITRite, con un sesgo de Bland Altman del 2,18 % sobre la media del parámetro del GAITRite. Mientras que en [27] utilizan múltiples Kinect V2 para realizar este mismo análisis con 21 personas saludables en un recorrido de 10 metros, donde se compara el Kinect V2 (con un  $ICC \geq 0,888$ ) y el sistema Optotrak obteniendo una buena coincidencia con los parámetros de marcha, especialmente con los puntos del cuerpo en movimiento.

X. Xu et al. En [28] observaron los parámetros de marcha de 20 personas saludables que caminaron sobre una banda caminadora a diferentes velocidades utilizando el Kinect. Para evaluar la precisión de éste sensor se comparó con el sistema Optotrak, donde se analizó el momento en que se da el golpe del talón (HS) y el despliegue de los dedos (T O) para el estudio de estos parámetros, calculando la diferencia en el tiempo de cada paso entre los dos sistemas de captura, fase de giro, fase de apoyo, el tiempo de soporte de ambos miembros, el ancho de paso, el coeficiente de correlación y la concordancia coeficiente de correlación. Además se determinó el sesgo entre ambos sistemas por medio de Bland-Altman, donde se recomienda utilizar el Kinect para medir algunos de los parámetros de marcha dependiendo de la precisión que se requiera.

## **7.2. Rehabilitación y seguimiento de enfermedades**

En [29] se utilizó el Kinect para determinar la precisión de este sensor para el análisis clínico de movimientos relevantes en personas con la enfermedad de Parkinson. Este estudio se realizó con 9 personas con esta enfermedad, las cuales ejecutaron una serie de movimientos con repeticiones de los mismos, los movimientos incluyen la escala de evaluación unificada de la enfermedad del Parkinson. Estos datos fueron capturados con el Kinect y el sistema de análisis de movimiento 3D Vicon. Para comparar ambos sistemas de captura se hace un análisis estadístico donde el Kinect presenta un  $ICC > 0,9$  y correlación de Pearson mayor a 0,9, y en comparación con el sistema Vicon tiene una correlación de Pearson mayor a 0,9 para la mayoría de las actividades realizadas con sus respectivas ejecuciones; sin embargo, para movimientos que sean muy pequeños el Kinect no tiene una muy buena precisión.

Por otro lado, en [5] se realizó el seguimiento y análisis de los movimientos básicos del brazo de dos pacientes con lesión traumatólogica en su proceso de rehabilitación, donde se determinó de manera cualitativa el progreso de estos en la lesión de las extremidades superiores. Para la captura

los datos se utilizó el Kinect donde se calcularon y graficaron los ángulos de cada movimiento (elevación de la clavícula, inclinación de la clavícula, flexión y extensión de hombro, abducción y aducción lateral del hombro, abducción y aducción horizontal del hombro, flexión y extensión del codo, amplitud del movimiento de la muñeca) realizando un análisis estadístico de estos con la moda, media, mediana, varianza, mínimo y máximo de las repeticiones de cada movimiento.

M.E. Hubert et al. En [6] determinan la validez y confiabilidad del Kinect para la medición de los ángulos de la articulación del hombro, por medio de 10 participantes saludables (sin ninguna patología) los cuales realizaron cuatro poses estáticas (Flexión de 90°, flexión al máximo, abducción de 90° y rotación externa hasta el máximo a 0° de abducción) con dos repeticiones en cada una de estas, utilizando el Kinect (con vista frontal para los movimientos anteriores y vista sagital para la flexión de 90° y flexión al máximo), el sistema de análisis de movimiento 3D trakSTAR y un goniómetro (estándar clínico) para la medición y comparación de los ángulos de la articulación del hombro, donde el Kinect obtuvo una medida confiable del ángulo del hombro con un ICC de 0,76 – 0,98 en la vista frontal, el 95 % del LOA entre el Kinect y el sistema trakSTAR y el goniómetro superó  $\pm 5^\circ$  en todas las poses desde las dos vistas. La vista sagital de la flexión de 90° presenta una mejor confiabilidad en comparación a la frontal debido a la oclusión que presenta la articulación del hombro por la cámara del Kinect.

En [7] se desarrolla un juego de terapia física utilizando el Kinect, el cual consiste en que el jugador imita los gestos que aparece en el juego que son relevantes clínicamente; para lo cual, se tuvo 31 sujetos de prueba, donde se realizó el seguimiento de los ángulos de Euler en el movimiento del brazo que se compararon con una referencia terapéutica prescrita y el tiempo en que el usuario se mantiene con el gesto coincidiendo con la referencia, obteniendo como resultado un incremento en la capacidad de los usuarios para modelar los gestos de referencia a medida que continuaban jugando.

### **7.3. Reconocimiento de actividades**

En [9] se realiza un estudio exhaustivo de la representación del espacio-tiempo de las personas basándose en los datos 3D del esqueleto, mostrando algunos de los dispositivos que se han utilizado para el reconocimiento de actividades como: Kinect v1, Kinect v2, IMU, MoCap, sensores ToF, entre otros y la combinación de algunos de estos sensores como Kinect v1 + IMU, Kinect v2 + IMU y MoCap + sensores ToF; junto con las bases de datos de la información del esqueleto humano en 3D. Además, se menciona la importancia de representar en el espacio temporal los datos para

encontrar la diferencia en las posiciones de las articulaciones del esqueleto en el espacio 3D del mundo real, con el fin de no tener problemas con la estimación de la pose y del gesto a reconocer; para lo cual es necesario construir un diccionario donde se reúnan las características de varias fuentes en un sólo vector, disminuyendo la latencia en el procesamiento por medio de la codificación basada en la concatenación, codificación basada en estadística o la bolsa de palabras. También se indica que los mapas formados por las trayectorias del movimiento de las articulaciones se pueden utilizar para representar la relación entre las articulaciones y las partes del cuerpo en un nuevo espacio topológico.

F. Moayedí et al. En [10] proponen un método para el reconocimiento de actividades humanas, el cual se basa en el modelamiento de un vocabulario con las características locales de una imagen en una bolsa de palabras (BoW), que se obtienen utilizando el descriptor HOtt para detectar los cambios en la postura en cada frame del vídeo, para lo cual no se requiere realizar ningún tipo de pre-procesamiento, segmentación o extracción de fondo para la detección de humanos. Éste método se evaluó en cuatro bases de datos (KTH, Weismann, UCF-sports y UCF50) que contienen actividades humanas que son estándares, donde se utilizó una máquina de vectores de soporte SVM (uno contra uno) con validación cruzada de 10 iteraciones para la clasificación de cada una de las actividades, con una precisión del 100 %, 100 %, 96 % y 93,3 % respectivamente.

R. San-Segundo et al. En [11] describen el desarrollo de un sistema para el reconocimiento de actividades humana y segmentación (HARS) utilizando la base de datos UCI (Reconocimiento de Actividades Humanas usando Smartphones) realizada con un grupo de 30 personas entre el rango de edades de 19 a 48 años, la cual contiene seis tipos de actividades: caminar, caminar subiendo escaleras, caminar bajando escaleras, sentado, de pie y acostarse. El entrenamiento para la clasificación de las actividades se realizó con HMMs con validación cruzada de 6 iteraciones, obteniendo una precisión del  $95 \% \pm 0,4 \%$  y una tasa de error en la segmentación de la actividad (ASER) del 2,1 %.

En [30] se propone una nueva metodología para el reconocimiento de 5 actividades humanas (quedarse quieto, agacharse y levantarse, saltar, levantar mano derecha y trotar) utilizando fusión de datos multimodal provistas por los sensores IMU, EMG y Kinect®; donde el conjunto de movimientos primitivos (reposo, medio agachado, totalmente agachado, suspendido en el aire 1/4, mano levantada a 1/4, mano levantada a 3/4, paso adelante pie derecho, paso adelante pie izquierdo) indican de forma única una actividad. Para la detección de los movimientos primitivos, se utilizó

máquinas de vectores de soporte multiclase (SVM – multiclass), y para la clasificación de la actividad, se entrenaron las secuencias de movimientos provistas por las salidas de las SVM en una ventana de tiempo de 3 segundos con HMMs (Hidden Markov Model). Por otro lado, se evaluó el desempeño del método probando diferentes combinaciones de los sensores utilizados (IMU+EMG+Kinect®, IMU+Kinect®, EMG+Kinect®, IMU+EMG, IMU, EMG y Kinect®) donde el mejor resultado se da en todas las configuraciones que involucran la red de sensores IMU y la mejor confiabilidad ( $98,04 \pm 2,31$  %) con el mínimo número de sensores en la configuración IMU+ EMG + Kinect®.

#### **7.4 Análisis del miembro superior**

En [32] realizan un estudio enfocado en la rehabilitación de forma activa, durante los ejercicios de efecto palanca, con los cuales el paciente gradualmente realiza movimientos del miembro superior de una manera completa y correcta; este análisis se realiza por medio de un sensor RGB-D, las características representativas de los miembros superiores de un paciente son extraídas y observadas en el tiempo para un análisis posterior. El paciente fue sometido a un proceso de rehabilitación que incluyó varias sesiones en diferentes días; a partir de los datos obtenidos y las gráficas generadas se construye un análisis cuantitativo puntual, considerando únicamente las gráficas y datos en cada sesión de rehabilitación, por último se observa la evolución del paciente en su progreso de rehabilitación.

En [33] elaboran un estudio que permite analizar las diferencias cinemáticas y cronológicas en la activación muscular que pueden estar presentes en pacientes con ACV (Accidentes Cerebrovasculares) y sujetos sanos en la tarea de beber agua de una taza, básicamente el objetivo de este trabajo es cuantificar las estrategias motoras de compensación que ocurren en la extremidad superior afectada en pacientes con ictus durante la actividad de beber agua de un vaso. Para construir este estudio se elige cuatro pacientes con ictus y cuatro sujetos controles, sin patología y diestros. El análisis del movimiento se realizó usando el sistema VICONmotion System® y el equipo de electromiografía de superficie Aurion ZeroWire®. Se analizaron los movimientos articulares del codo, el hombro y el tórax. Se realizó un análisis cualitativo de la secuencia de activación muscular.

En [34] analizan la cinética del miembro torácico durante la propulsión de una silla de ruedas mediante la ayuda de un análisis de fuerzas, para determinar el comportamiento articular durante

las distintas fases de la propulsión. También esta investigación se enfocó en obtener el modelo que describe el comportamiento del brazo durante la propulsión de una silla de ruedas, realizado a voluntarios el cual se les instrumentó con los sensores XSens® y se conectó al ergómetro para realizar la simulación; luego se procesa esta información en MatLab R2010a®, para después observar la señal junto con los torques generados en los ejes x,y, z correspondientes a los grados de libertad de las tres articulaciones (hombro, codo, muñeca).

## **8. DESARROLLO METODOLÓGICO**

### **8.1 Definición de las actividades a realizar**

De acuerdo al trabajo desarrollado en [16], se determinan las mismas actividades que se plantearon en este trabajo con el fin de comparar los sistemas de medición utilizando sistemas de visión, esto quiere decir que se llevaran a cabo cinco actividades. A continuación se nombrará cada una de las actividades y la forma en la que se realizaron.

El paciente inicia el movimiento desde una posición con ligera abducción  $10^\circ$ , palmas al frente codos extendidos y dedos extendidos ambas manos a cada lado del cuerpo. El paciente se encuentra sentado en una silla con una mesa en frente [16].

#### **Mano cabeza--- Actividad 1**

Simula el hecho de alcanzar la cabeza y poder lavarse o peinarse Desde la posición neutra el sujeto lleva su mano a la sien y la desliza por encima y por detrás de la oreja. Luego retorna la posición neutra [16]. Véase en figura 20.a.

#### **Mano hombro contralateral---- Actividad 2**

Simula el hecho de acomodarse un morral o chaqueta Desde la posición neutra el sujeto e lleva su mano al hombro contra lateral y la retorna la posición neutra [16]. Véase en figura 20.b.

#### **Mano boca--- Actividad 3**

Simula el acto de comer o beber. Desde la posición neutra el sujeto se lleva su mano a la boca y retorna a la posición neutra [16]. Véase en figura 20.c.

#### **Mano bolsillo trasero--- Actividad 4**

Simula el hecho de poder higienizarse. Desde la posición neutra se lleva la mano al bolsillo del pantalón ipsilateral retornando al punto de partida [16]. Véase en figura 20.d.

## Mano objeto--- Actividad 5

Simula el hecho de poder transportar objetos y tomarlos con precisión. Desde la posición neutra el sujeto inicia el movimiento con el fin de alcanzar el objeto que tiene el marcador reflectado. Toma el objeto lo lleva a su cuerpo y lo devuelve a la mesa que se encuentra a la misma altura de su pelvis. Luego retorna la posición neutra [16]. Véase en figura 20.e.

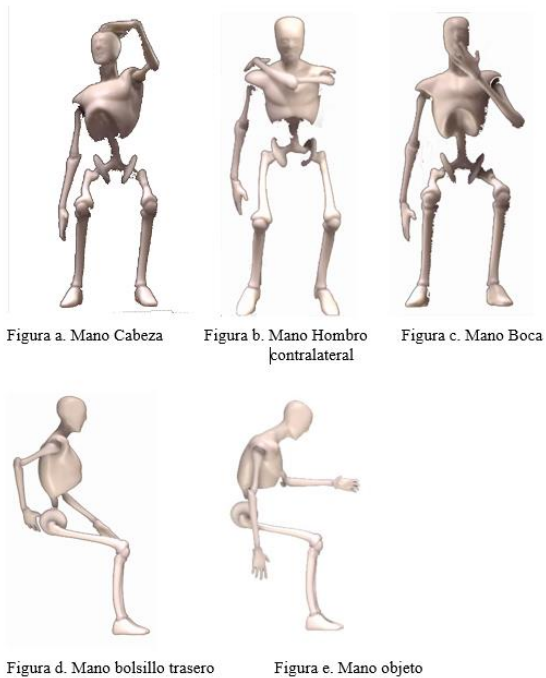


Figura No 20. Actividades a realizar.

### 8.2 Creación base de datos

Al momento de realizar la base de datos se construye una interfaz gráfica en LabView que logra comunicarse con el sensor de profundidad, en este caso el Kinect del Xbox-One, esta interfaz le permite al usuario seleccionar una de las cinco actividades a realizar, también seleccionar la persona, que para este proyecto eran diez niños sanos con rangos de 7 a 12 años de edad, sin olvidar que cada persona tiene 3 intentos para hacer dicha actividad, todo esto se ilustra en la figura 21.

Esta interfaz también posee un botón llamado “Adquirir”, su función es adquirir los datos, además de un pequeño cuadro de información llamado “END” que sirve para mostrar al usuario que ya ha finalizado la toma de datos, durante estas actividades las personas contarán con un tiempo estimado de cinco segundos para realizar dicho movimiento, es de resaltar que la persona se encuentra en postura sedente (sentado).



Cada Persona deberá realizar las cinco actividades por cada miembro superior (es decir con los dos brazos), por lo que se contará con un botón llamado “Mano” que permite al usuario elegir entre la mano izquierda y derecha. Por último, en la parte derecha de la interfaz habrá una matriz de 25\*40 que se llenaran durante los 5 segundos, en donde 25 representa todos los puntos articulados del cuerpo humano y 40 son los la cantidad de muestras tomadas en este tiempo. Todo lo dicho anteriormente se ilustra en la Figura 21.

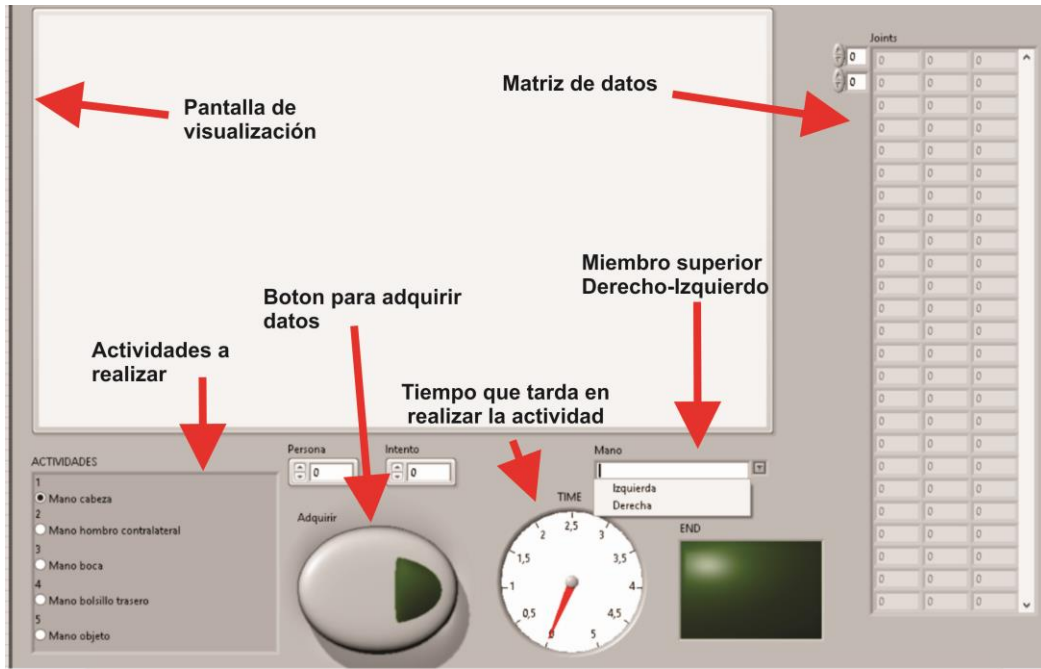


Figura No 21. Interfaz gráfica para la creación de la base de datos.

En la figura 22 se ilustra la programación en bloques, en el cual se explicará más adelante es 3 partes fundamentales.

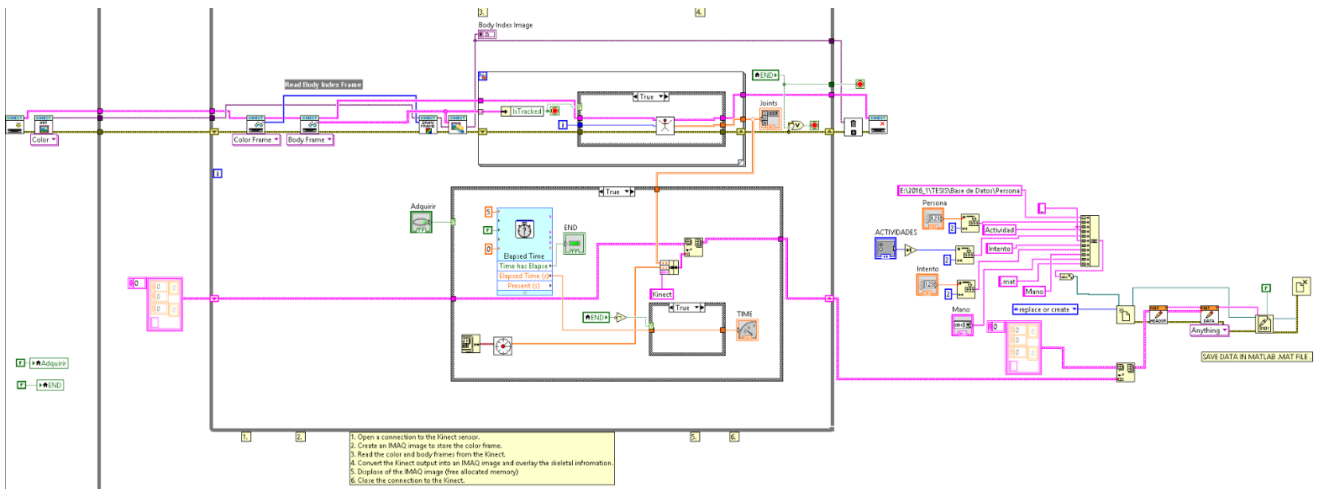


Figura No 22. Programa completo para la obtención de la base de datos.

### Parte 1 Obtención de datos

En esta primera parte se da la captura de los datos provenientes del botón “Adquirir”, se muestran algunos cluster, además de configurarse todo lo relacionado con el tiempo, que para este caso se asigna cinco segundos, véase también en la figura 23.

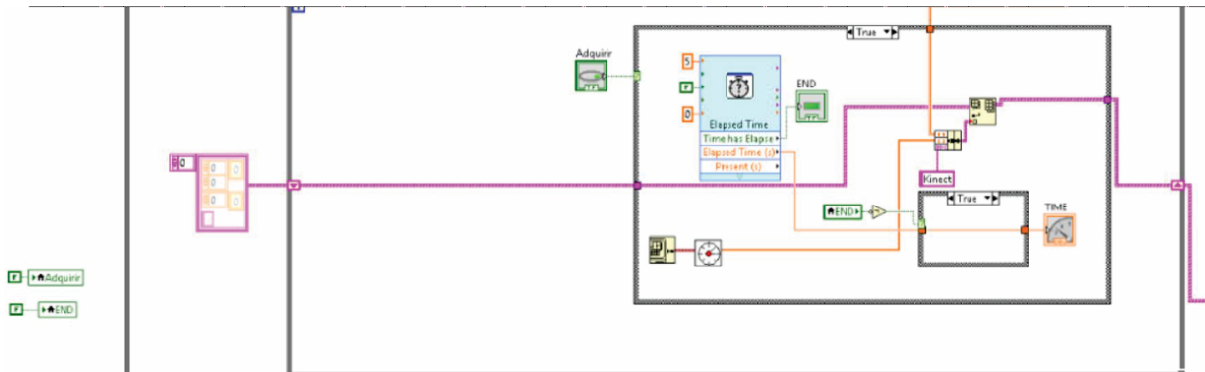


Figura No 23. Sección del programa para adquirir datos.

### Parte 2 Configuración del Kinect con el entorno de LabVIEW

En la figura 24 se observa la sección del programa el cual realiza toda la configuración del Kinect con el entorno LabVIEW, sin esta parte del programa la interfaz sería inútil, ya que el Kinect es el sensor que entrega los 25 puntos articulados del cuerpo humano.

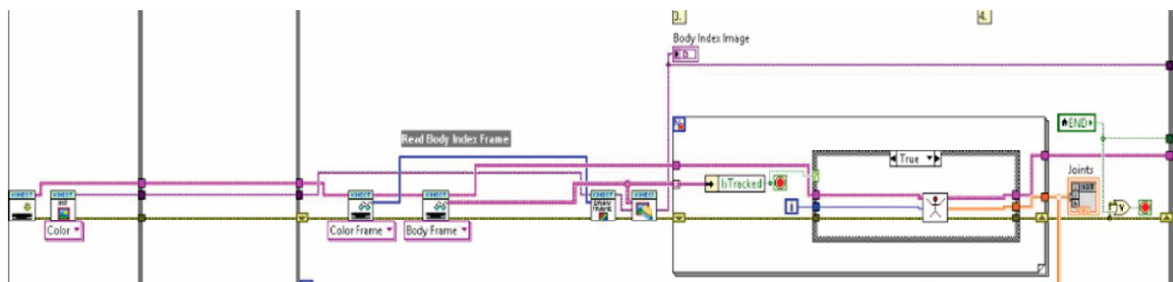


Figura No 24. Sección del programa para la configuración del Kinect

### Parte 3 Obtención de los datos y construcción de la matriz

En la figura 26 básicamente se realiza la construcción de la matriz, en donde se va a generar muchos archivos .mat, para luego ser cargados y analizados por la herramienta Matlab; para saber cuántos archivos exactamente se van a generar hay que realizar el siguiente diagrama, véase también en la figura 25.

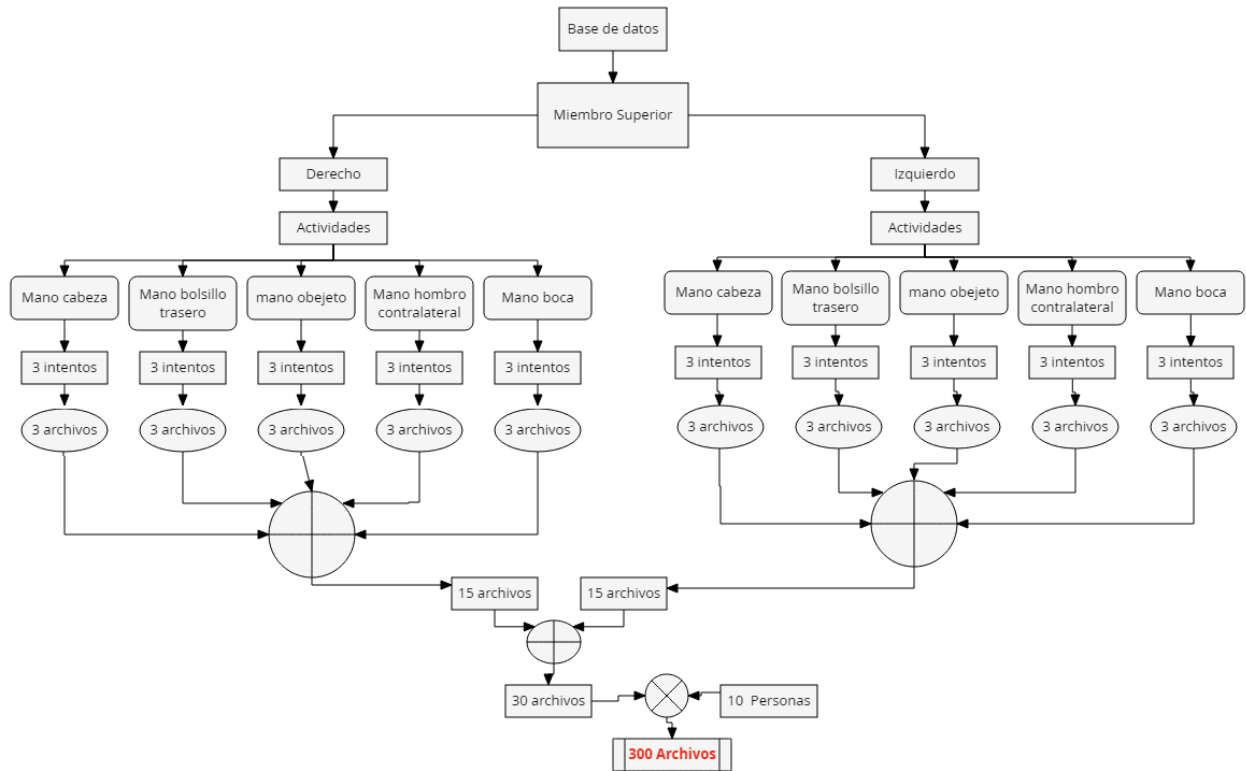


Figura No 25. Diagrama de flujo para la construcción de la base de datos.

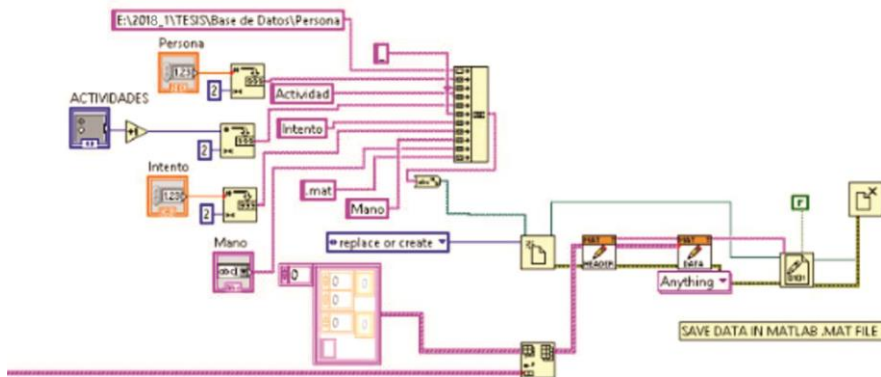
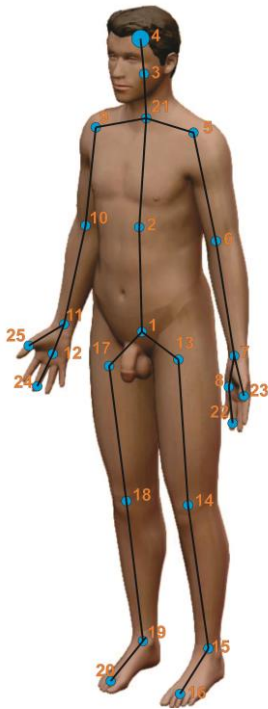


Figura No 26. Sección del programa para la construcción de la matriz de datos.

### 8.3 Calculo de los Ángulos

Al momento de tener toda la base de datos entregada por el Kinect y procesado por LabVIEW, se comienza a realizar el cálculo de los ángulos en el miembro superior (Codo, Muñeca, Hombro), es de tener en cuenta que las coordenadas que se van a trabajar están dadas por coordenadas rectangulares o cartesianas, es decir en (X, Y, Z); para algunos casos es obligatorio trabajar en

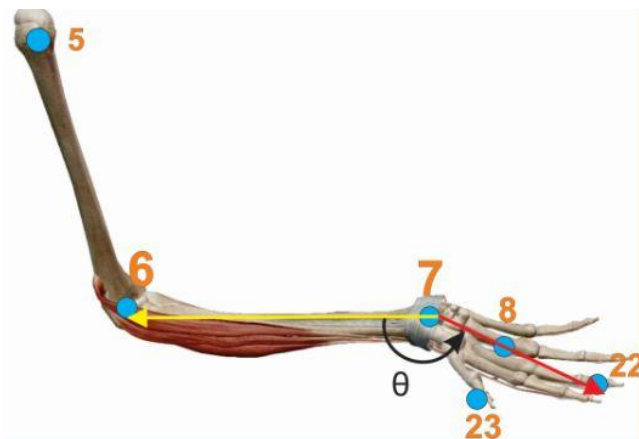
planos vectoriales y siempre la inclusión del álgebra lineal. En la figura 27 se ilustra un ejemplo de cómo están ubicados los 25 puntos articulados entregados por el sensor.



**Figura No 27.** Cuerpo Humano 3D con puntos articulados.

### 8.3.1 Cálculo de ángulo Muñeca (Flexión – Extensión)

Para realizar el cálculo de flexión y extensión de la muñeca es necesario tener dos vectores, un vector llamado  $\vec{u1}$  que lo representan los puntos articulados (7,6), pero también de otro vector llamado  $\vec{v1}$  que lo representan los puntos articulados (7, 23,22), teniendo estos dos vectores se procede aplicar el álgebra lineal para calcular el ángulo. Véase también en la figura 28 la representación de los puntos articulados en la muñeca.



**Figura No 28.** Imagen musculo-esqueleto del miembro superior izquierdo.

Dado que cada punto articulado contiene coordenadas rectangulares en (x, y, z), lo primero que se realiza es la resta de dos puntos el cual forman un vector.

Punto 6 = (x1, y1, z1), Punto 7 = (x2, y2, z2), Punto 8 = (x3, y3, z3), Punto 22 = (x4, y4, z4).

$$\vec{u1} = \text{punto 7} - \text{punto 6} = (x2, y2, z2) - (x1, y1, z1) == (x2-x1, y2-y1, z2-z1) = (xi, yi, zi).$$

$$\vec{v11} = \text{punto 8} - \text{punto 7} = (x3, y3, z3) - (x2, y2, z2) == (x3-x2, y3-y2, z3-z2) = (x, y, z).$$

$$\vec{v1} = \vec{v11} - \text{punto 22} = (x, y, z) - (x4, y4, z4) == (x-x4, y-y4, z-z4) = (xf, yf, zf).$$

Luego de tener los dos vectores  $\vec{u1}$  y  $\vec{v1}$  se procede a calcular el ángulo, a continuación se ilustra el procedimiento.

$$\vec{u1} = (xi, yi, zi).$$

$$\vec{v1} = (xf, yf, zf).$$

$$\text{Cos}\theta = \frac{\vec{u1} \cdot \vec{v1}}{|\vec{u1}| |\vec{v1}|} = \frac{(xi*xf)+(yi*yf)+((zi*zf))}{(\sqrt{(xi)^2+(yi)^2+(zi)^2}) * (\sqrt{(xf)^2+(yf)^2+(zf)^2})} = \frac{a1}{b1}$$

$$\theta = \cos^{-1} \frac{a1}{b1} == \text{ángulo de la muñeca izquierda}$$

### 8.3.2 Cálculo de ángulo Codo (Flexión – Extensión)

Para realizar el cálculo de flexión y extensión del codo es necesario tener dos vectores, un vector llamado  $\vec{u1}$  que lo representan los puntos articulados (10, 9), pero también de otro vector llamado  $\vec{v1}$  que lo representan los puntos articulados (10, 11,), teniendo estos dos vectores se procede aplicar el álgebra lineal para calcular el ángulo. Véase también en la figura 29 la representación de los puntos articulados en la muñeca.

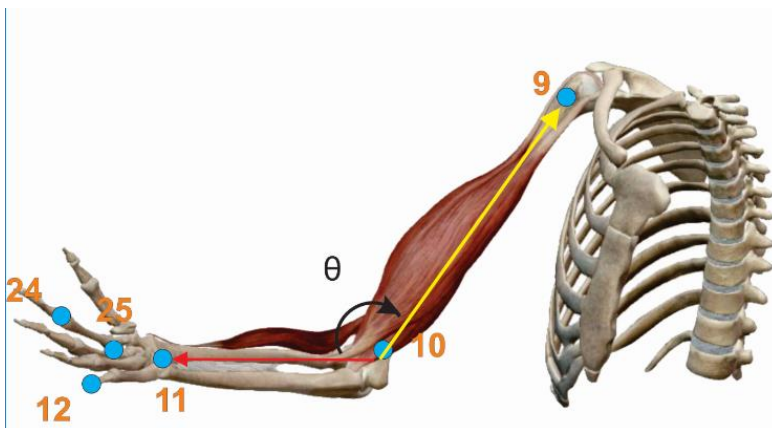


Figura No 29. Imagen musculo-esqueleto del miembro superior derecho.

Dado que cada punto articulado contiene coordenadas rectangulares en (x, y, z), lo primero que se realiza es la resta de dos puntos el cual forman un vector.

Punto 9 = (x1, y1, z1), Punto 10 = (x2, y2, z2), Punto 11 = (x3, y3, z3).

$$\vec{u1} = \text{punto 10} - \text{punto 9} = (x2, y2, z2) - (x1, y1, z1) == (x2-x1, y2-y1, z2-z1) = (xi, yi, zi).$$

$$\vec{v1} = \text{punto 11} - \text{punto 10} = (x3, y3, z3) - (x2, y2, z2) == (x3-x2, y3-y2, z3-z2) = (xf, yf, zf).$$

Luego de tener los dos vectores  $\vec{u1}$  y  $\vec{v1}$  se procede a calcular el ángulo, a continuación se ilustra el procedimiento.

$$\vec{u1} = (xi, yi, zi).$$

$$\vec{v1} = (xf, yf, zf).$$

$$\text{Cos}\Theta = \frac{\vec{u1} \cdot \vec{v1}}{|\vec{u1}| |\vec{v1}|} = \frac{(xi*xf)+(yi*yf)+((zi*zf))}{(\sqrt{(xi)^2+(yi)^2+(zi)^2}) * (\sqrt{(xf)^2+(yf)^2+(zf)^2})} = \frac{a1}{b1}$$

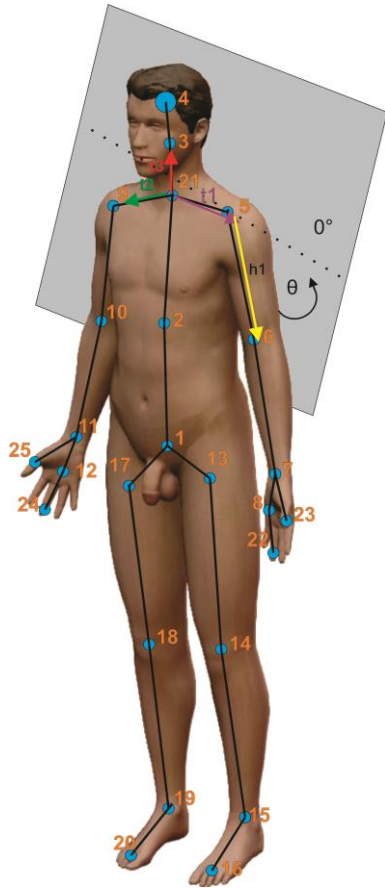
$$\Theta = \cos^{-1} \frac{a1}{b1} == \text{ángulo del codo derecho.}$$

### 8.3.3 Calculo ángulos Hombro

Al momento de llevar a cabo el procedimiento para calcular los ángulos del hombro, se toma como base los planos del cuerpo humano tales son: plano sagital, plano coronal y plano horizontal o transversal, facilitando así la medición de algunos ángulos del hombro.

#### Calculo de ángulo Hombro (Abducción-Aducción-horizontal)

Para realizar el cálculo de Abducción-Aducción-horizontal del hombro es necesario tener varios vectores, un vector llamado  $\vec{t1}$  (*morado*) que lo representan los puntos articulados (21,5), además de otro vector  $\vec{t3}$  (*rojo*) que lo representan los puntos articulados (21,3), estos dos vectores juntos formaran un plano y con ello un vector perpendicular  $\vec{t2}$ ; este vector perpendicular servirá para hallar el ángulo entre  $\vec{t2}$  y  $\vec{h1}$  Véase también en la figura 30 el plano junto a sus vectores.



**Figura No 30.** Proyección del cuerpo humano con el plano coronal.

Punto 3 =  $(x_1, y_1, z_1)$  Punto 5 =  $(x_2, y_2, z_2)$ , Punto 6 =  $(x_3, y_3, z_3)$ , Punto 21 =  $(x_4, y_4, z_4)$

$$\vec{h1} = \text{punto 5} - \text{punto 6} = (x_2, y_2, z_2) - (x_3, y_3, z_3) == (x_2 - x_3, y_2 - y_3, z_2 - z_3) = (x_i, y_i, z_i)$$

$$\vec{t1} = \text{punto 21} - \text{punto 5} = (x_4, y_4, z_4) - (x_2, y_2, z_2) == (x_4 - x_2, y_4 - y_2, z_4 - z_2)$$

$$\vec{t3} = \text{punto 3} - \text{punto 21} = (x_1, y_1, z_1) - (x_4, y_4, z_4) == (x_1 - x_4, y_1 - y_4, z_1 - z_4)$$

Con estos dos vectores se halla el plano y el vector perpendicular a él.

$$\vec{t2} = \vec{t1} \times \vec{t3} = (x_f, y_f, z_f)$$

Luego de tener los dos vectores  $\vec{t2}$  y  $\vec{h1}$  se procede a calcular el ángulo, a continuación se ilustra el procedimiento.

$$\vec{h1} = (x_i, y_i, z_i)$$

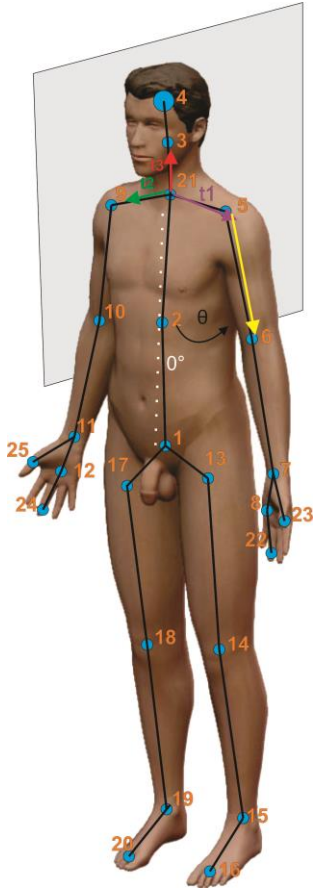
$$\vec{t2} = (x_f, y_f, z_f)$$

$$\text{Cos}\Theta = \frac{\vec{h1} \cdot \vec{t2}}{|\vec{h1}| |\vec{t2}|} = \frac{(x_i * x_f) + (y_i * y_f) + (z_i * z_f)}{(\sqrt{(x_i)^2 + (y_i)^2 + (z_i)^2}) * (\sqrt{(x_f)^2 + (y_f)^2 + (z_f)^2})} = \frac{a_1}{b_1}$$

$$\Theta = \cos^{-1} \frac{a_1}{b_1} == \text{Abducción-Aducción-horizontal del hombro (izquierdo)}$$

### Calculo de ángulo Hombro (Abducción-Aducción-Vertical)

Para realizar el cálculo de Abducción-Aducción-lateral del hombro es necesario tener varios vectores, un vector llamado  $\vec{t2}$  (*verde*) que lo representan los puntos articulados (21,9), además de otro vector  $\vec{t3}$  (*rojo*) que lo representan los puntos articulados (21,3), estos dos vectores juntos formaran un plano y con ello un vector perpendicular  $\vec{t1}$ ; este vector perpendicular servirá para hallar el ángulo entre  $\vec{t1}$  y  $\vec{h1}$  Véase también en la figura 31 el plano junto a sus vectores.



**Figura No 31.** Proyección del cuerpo humano con el plano sagital.

Punto 3 = (x1, y1, z1) Punto 9 = (x2, y2, z2), Punto 6 = (x3, y3, z3), Punto 21= (x4, y4, z4)

$$\vec{h1} = \text{punto 5} - \text{punto 6} = (x2, y2, z2) - (x3, y3, z3) == (x2-x3, y2-y3, z2-z3) = (xi, yi, zi)$$

$$\vec{t2} = \text{punto 21} - \text{punto 9} = (x4, y4, z4) - (x2, y2, z2) == (x4-x2, y4-y2, z4-z2)$$

$$\vec{t3} = \text{punto 3} - \text{punto 21} = (x1, y1, z1) - (x4, y4, z4) == (x1-x4, y1-y4, z1-z4)$$

Con estos dos vectores se halla el plano y el vector perpendicular a él.

$$\vec{t1} = \vec{t2} \times \vec{t3} = (xf, yf, zf)$$



Luego de tener los dos vectores  $\vec{t1}$  y  $\vec{h1}$  se procede a calcular el ángulo, a continuación se ilustra el procedimiento.

$$\vec{h1} = (x_i, y_i, z_i)$$

$$\vec{t1} = (x_f, y_f, z_f)$$

$$\text{Cos}\Theta = \frac{\vec{h1} \cdot \vec{t2}}{|\vec{h1}| |\vec{t2}|} = \frac{(x_i * x_f) + (y_i * y_f) + (z_i * z_f)}{(\sqrt{(x_i)^2 + (y_i)^2 + (z_i)^2}) * (\sqrt{(x_f)^2 + (y_f)^2 + (z_f)^2})} = \frac{a1}{b1}$$

$$\Theta = \cos^{-1} \frac{a1}{b1} === \text{Abducción-Aducción-lateral del hombro (izquierdo)}$$

### Calculo de ángulo Hombro (Flexión – Extensión)

Para realizar el cálculo de Flexión y Extensión del hombro es necesario tener varios vectores, un vector llamado  $\vec{t1}$  (*morado*) que lo representan los puntos articulados (21,5), además de otro vector  $\vec{t2}$  (*verde*) que lo representan los puntos articulados (21,9), estos dos vectores juntos formaran un plano y con ello un vector perpendicular  $\vec{t3}$ ; este vector perpendicular servirá para hallar el ángulo entre  $\vec{t3}$  y  $\vec{h1}$  Véase también en la figura 32 el plano junto a sus vectores.

$$\text{Punto 9} = (x_1, y_1, z_1) \quad \text{Punto 5} = (x_2, y_2, z_2), \quad \text{Punto 6} = (x_3, y_3, z_3), \quad \text{Punto 21} = (x_4, y_4, z_4)$$

$$\vec{h1} = \text{punto 5} - \text{punto 6} = (x_2, y_2, z_2) - (x_3, y_3, z_3) == (x_2 - x_3, y_2 - y_3, z_2 - z_3) = (x_i, y_i, z_i)$$

$$\vec{t2} = \text{punto 9} - \text{punto 21} = (x_1, y_1, z_1) - (x_4, y_4, z_4) == (x_1 - x_4, y_1 - y_4, z_1 - z_4)$$

$$\vec{t1} = \text{punto 21} - \text{punto 5} = (x_1, y_1, z_1) - (x_2, y_2, z_2) == (x_1 - x_2, y_1 - y_2, z_1 - z_2)$$

Con estos dos vectores se halla el plano y el vector perpendicular a él.

$$\vec{t3} = \vec{t1} \times \vec{t2} = (x_f, y_f, z_f)$$

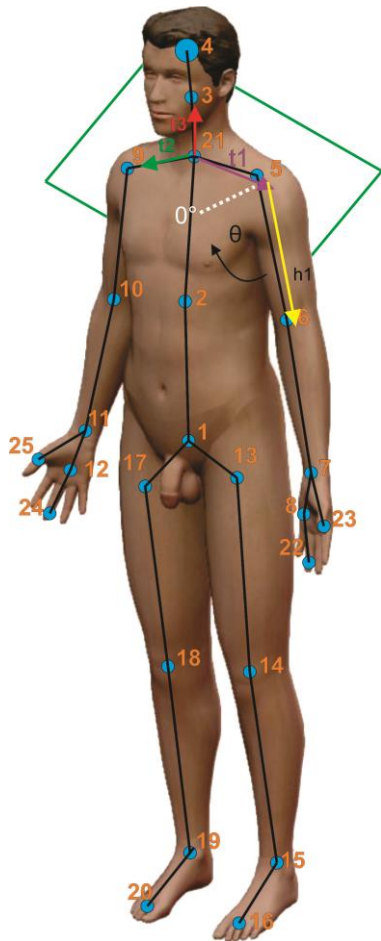
Luego de tener los dos vectores  $\vec{t3}$  y  $\vec{h1}$  se procede a calcular el ángulo, a continuación se ilustra el procedimiento.

$$\vec{h1} = (x_i, y_i, z_i)$$

$$\vec{t3} = (x_f, y_f, z_f)$$

$$\text{Cos}\Theta = \frac{\vec{h1} \cdot \vec{t3}}{|\vec{h1}| |\vec{t3}|} = \frac{(x_i * x_f) + (y_i * y_f) + (z_i * z_f)}{(\sqrt{(x_i)^2 + (y_i)^2 + (z_i)^2}) * (\sqrt{(x_f)^2 + (y_f)^2 + (z_f)^2})} = \frac{a1}{b1}$$

$$\Theta = \cos^{-1} \frac{a1}{b1} === \text{Flexión-Extensión del hombro (izquierdo)}$$

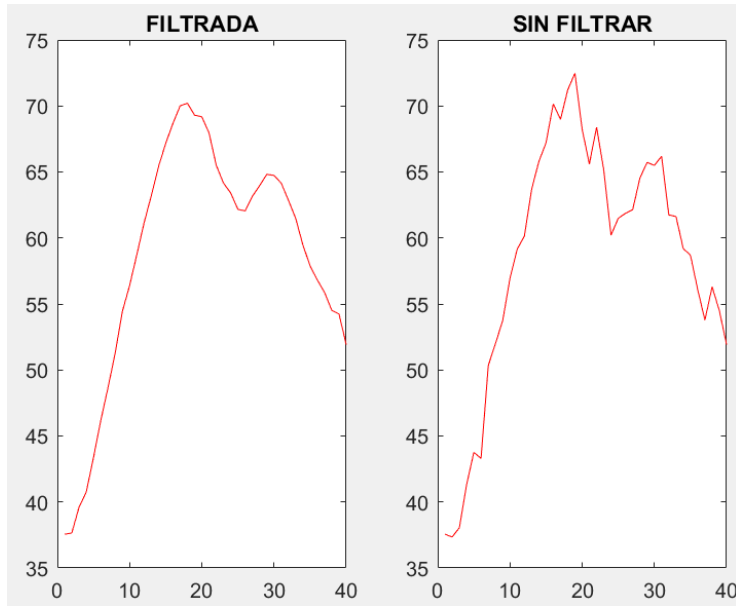


**Figura No 32.** Proyección del cuerpo humano con el plano horizontal.

**NOTA:** Para el hombro se ilustra todo el procedimiento con el miembro superior izquierdo pero la única diferencia de trabajar con el miembro superior derecho son los parámetros de  $h1$ , en donde los puntos articulados serian (9,10), de ahí en adelante es el mismo procedimiento ya mostrado.

#### **8.4 Aplicación del filtro en la construcción de las graficas**

Después de obtener los ángulos por cada actividad, se lleva a cabo la aplicación de un filtro de media móvil, para el cual la herramienta matlab facilita por medio de sus toolbox; el comando que facilita realizar este tipo de filtrado se llama “smooth”, en donde su principal función es eliminar los componentes de altas frecuencias, esto es observado en la figura 33. Es muy importante la etapa de filtrado ya que permite visualizar mejor la reconstrucción del movimiento.



**Figura No 33.** Filtrado de los ángulos de la actividad No 4 en matlab.

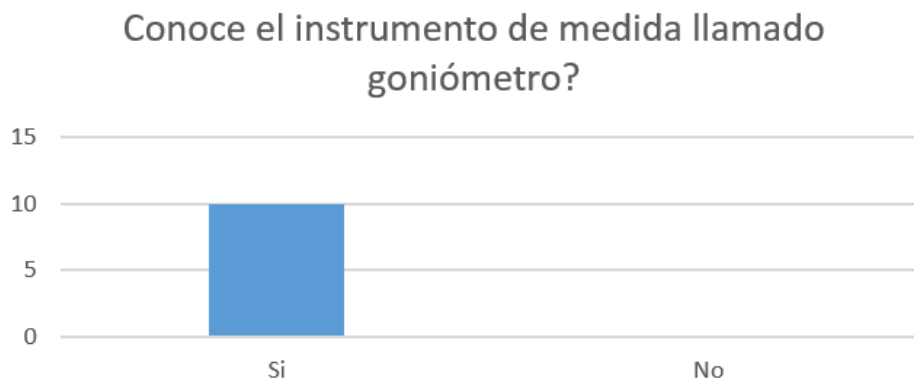
## 9. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Durante el proyecto investigativo se realizaron 10 encuestas a especialistas (fisioterapeutas, fisiatras, traumatólogos) encargados de revisar, diagnosticar y curar lesiones producidas en el miembro superior. Esto se hace básicamente para constatar el procedimiento que realizan al momento de atender un paciente con problemas en su miembro superior.

### 9.1 Análisis cuantitativo y cualitativo de las encuestas

#### Análisis cuantitativo

En la figura 34 y 35 se observa que el 100% de los especialistas encuestados conocen y utilizan el instrumento análogo denominado goniómetro, lo que quiere decir que este instrumento se volvió fundamental para el análisis del miembro superior.



**Figura No 34.** Respuesta de los encuestados acerca del conocimiento sobre el goniómetro.

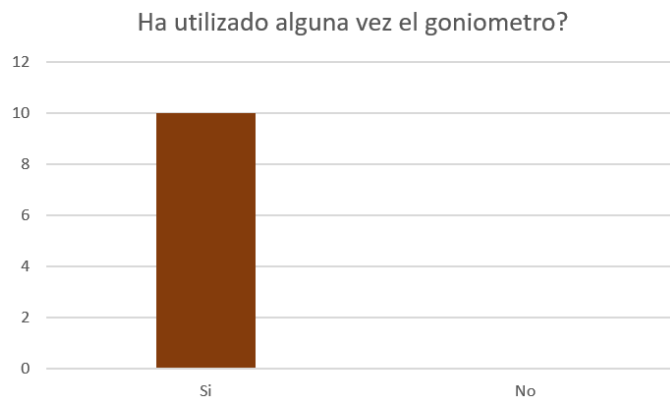


Figura No 35. Respuesta de los encuestados acerca del uso del goniómetro.

Observando la figura 36, se aprecia el desconocimiento que hay acerca de los sistemas de visión capaces de ilustrar los puntos articulados del cuerpo humano, Por lo que se deduce que la mitad de los especialistas encuestados, diagnostican y analizan a sus pacientes por un método análogo y anticuado.

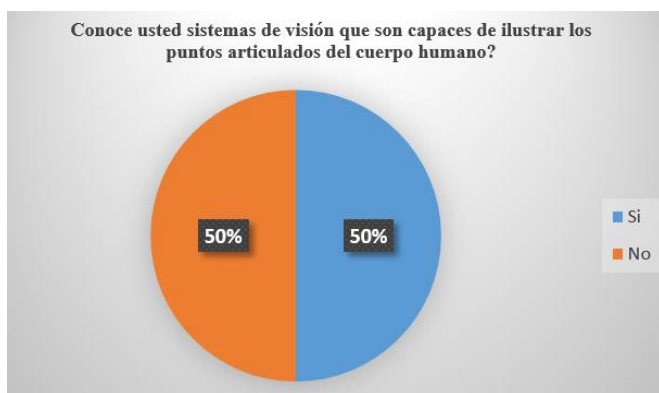


Figura No 36. Grafica porcentual sobre el conocimiento de sistemas de visión.

Muchos de las lesiones del miembro superior son el hombro, después le sigue la muñeca y por último el codo, esto se comprueba en la figura 37.



Figura No 37. Grafica porcentual acerca de las lesiones más frecuentes en el miembro superior.

## **Análisis cualitativo**

La pregunta que se refería acerca de “cuáles enfermedades diagnostican del miembro superior”, la gran mayoría de especialistas contestaron el maguito rotador, pero también la enfermedad del túnel del carpo y por último la epicondilitis, resaltando que muchos pacientes realizan un mayor sobreesfuerzo al hombro, provocando el desgaste del manguito rotador.

Una de las preguntas de la encuesta, en donde su enunciado es “cuando el paciente ha finalizado su recuperación ¿Cómo analiza usted la evolución de su paciente?”, la respuesta de los encuestados fueron:

- Durante y finalizado la etapa de recuperación se realizaban ejercicios físicos o de funcionalidad.
- Después del diagnóstico al paciente, se procedía a realizar un análisis previo al tratamiento con el fisioterapeuta, y una vez finalizado el tratamiento se disponía a comparar resultados y evolución del paciente.
- La escala de dolor la utilizan mucho, principalmente la escala de puntuación verbal (EPV) en donde se le pide al paciente que elija el adjetivo que mejor describa la intensidad de su dolor (sin dolor, dolor leve, dolor moderado, dolor severo o grave).

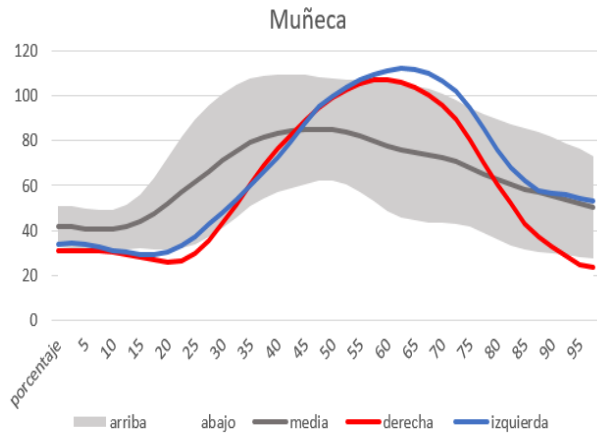
## **9.2 Análisis gráfico de las cinco actividades (Kinect Vs MocAp)**

A continuación se ilustraran las gráficas del recorrido del movimiento en las cinco actividades, a su vez estarán cuadros comparativos en donde se muestra los rangos de los ángulos del Kinect vs MocAp Vs ángulos Estándar.

Las gráficas están constituidas por dos ejes, grados (vertical) y porcentaje de tiempo (horizontal), adentro de estos ejes se encuentran la reconstrucción del movimiento tanto en el miembro superior derecho como en el izquierdo, representado en la gráfica roja (miembro superior derecho), la azul (miembro superior izquierdo), gris representa la media de las 10 personas tanto en miembro superior derecho como en el izquierdo, por último se encuentra un sombreado gris, que es la representación de la desviación estándar. Cabe resaltar que por medio de este sensor de profundidad se logra calcular no solo la abducción-aducción lateral del hombro sino también la abducción-aducción horizontal del hombro, dando una perspectiva más amplia, permitiendo realizar un análisis un poco más detallado de la movilidad del hombro.

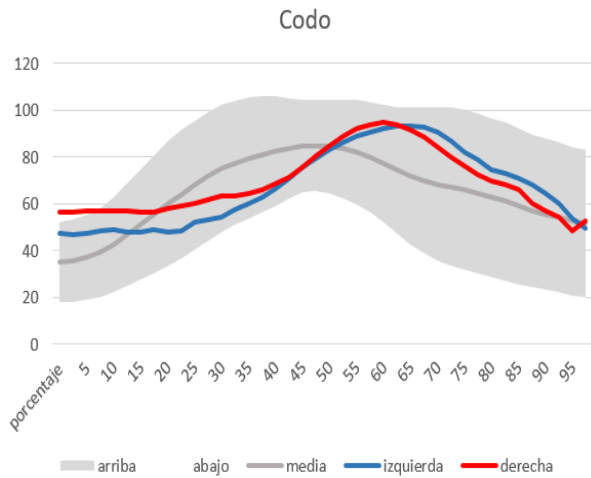
## Actividad 1- Mano cabeza

### Muñeca (Flexión Extensión) – tesis actual



Rangos de movilidad (grados)					
Kinect		Estándar [35]		MocAp [16]	
Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior
30	110	0	80	-20	180

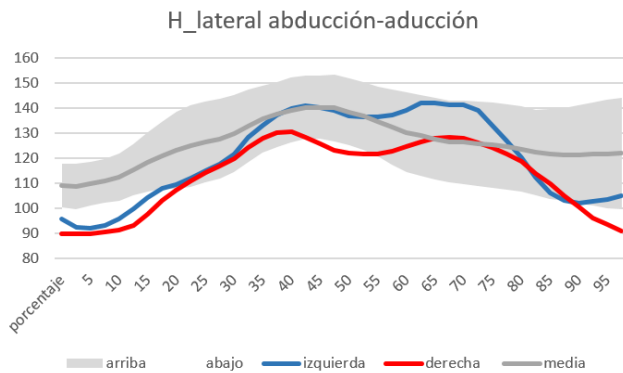
### Codo (Flexión Extensión)- tesis actual



Rangos de movilidad (grados)					
Kinect		Estándar [35]		MocAp [16]	
Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior
20	105	0	150	25	170

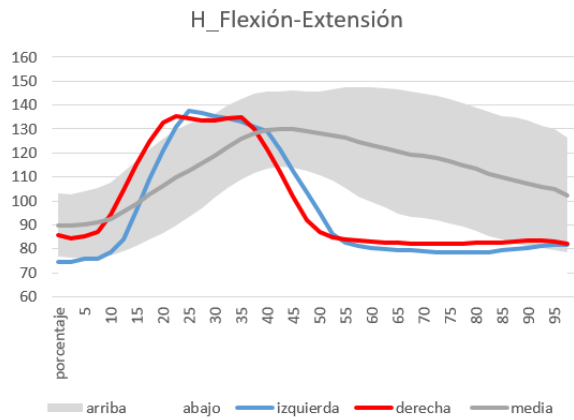
## Análisis del Hombro

### Abducción-Aducción lateral del hombro- tesis actual



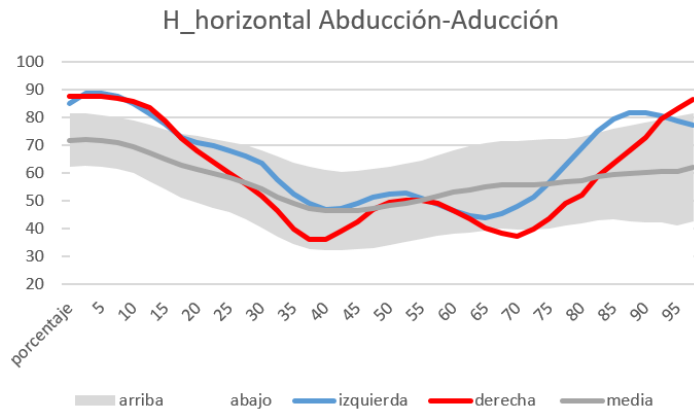
Rangos de movilidad (grados)					
Kinect		Estándar [35]		MocAp [16]	
Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior
100	150	0	180	18	38

## Flexión-Extensión del hombro- tesis actual



Rangos de movilidad (grados)					
Kinect		Estándar [35]		MocAp [16]	
Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior
78	145	0	180	0	110

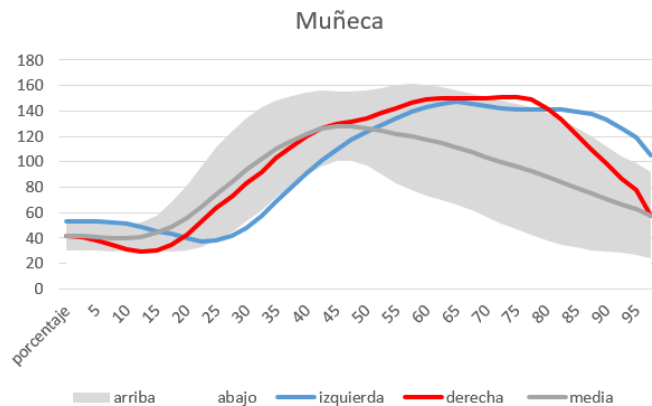
## Abducción-Aducción horizontal del hombro- tesis actual



Rangos de movilidad (grados)			
Kinect		Estándar [35]	
Inferior	Superior	Inferior	Superior
35	80	0	90

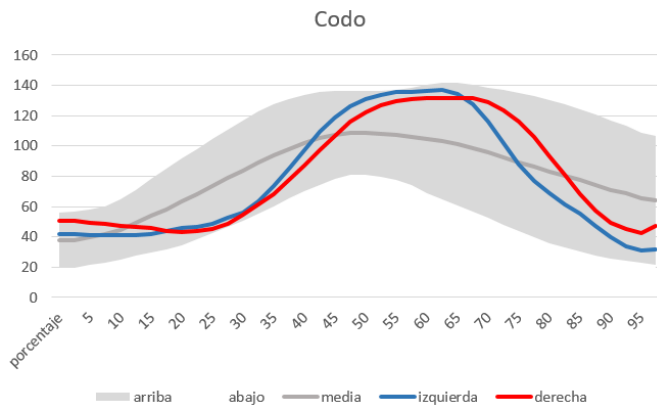
## Actividad 2- --Mano hombro contralateral

### Muñeca (Flexión Extensión)- tesis actual



Rangos de movilidad (grados)					
Kinect		Estándar [35]		MocAp [16]	
Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior
30	160	0	80	0	125

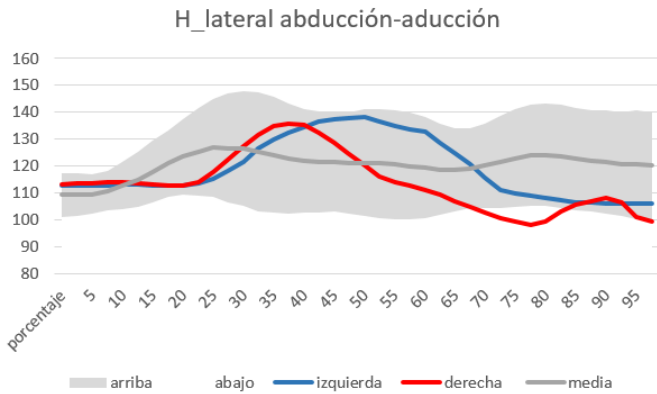
## Análisis Codo (Flexión Extensión)- tesis actual



Rangos de movilidad (grados)					
Kinect		Estándar [35]		MocAp [16]	
Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior
20	138	0	150	25	150

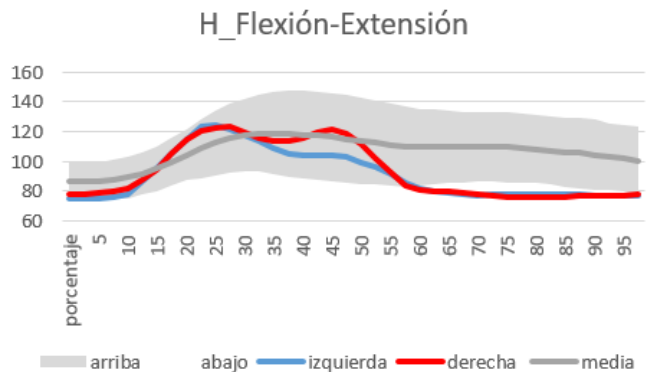
## Análisis Hombro

### Abducción-Aducción lateral del hombro- tesis actual



Rangos de movilidad (grados)					
Kinect		Estándar [35]		MocAp [16]	
Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior
100	138	0	140	15	138

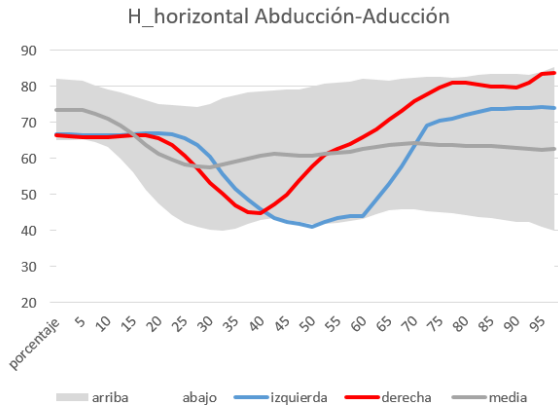
### Flexión-Extensión del hombro- tesis actual



Rangos de movilidad (grados)					
Kinect		Estándar [35]		MocAp [16]	
Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior
70	143	0	180	18	60



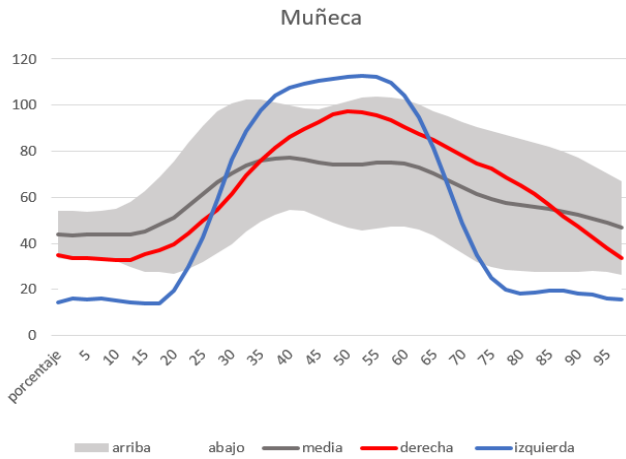
### Abducción-Aducción Horizontal del hombro- tesis actual



Rangos de movilidad (grados)			
Kinect		Estándar [35]	
Inferior	Superior	Inferior	Superior
40	80	0	90

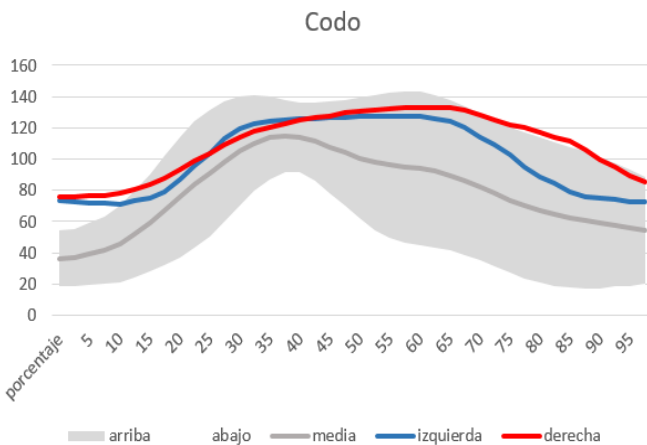
### Actividad 3- Mano boca

#### Muñeca (Flexión-Extensión)- tesis actual



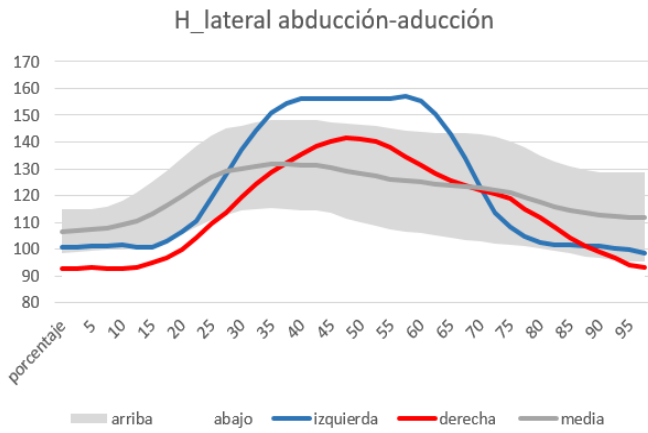
Rangos de movilidad (grados)					
Kinect		Estándar [35]		MocAp [16]	
Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior
30	100	0	80	0	120

#### Codo (Flexión-Extensión)- tesis actual



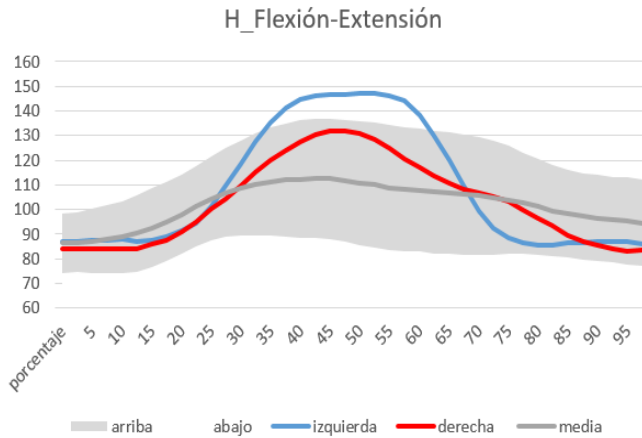
Rangos de movilidad (grados)					
Kinect		Estándar [35]		MocAp [16]	
Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior
20	140	0	150	25	150

### Abducción-Aducción Lateral del hombro- tesis actual



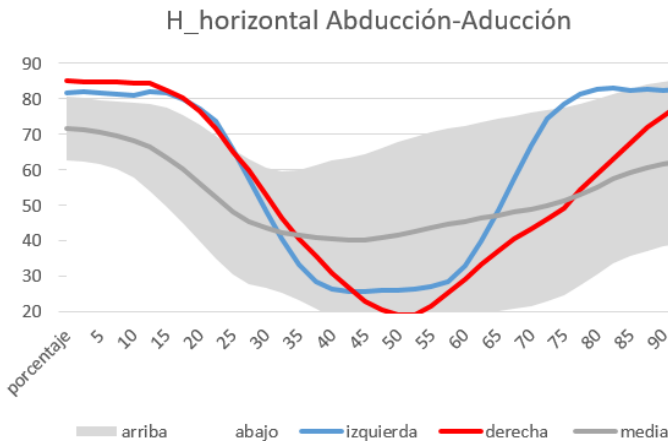
Rangos de movilidad (grados)					
Kinect		Estándar [35]		MocAp [16]	
Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior
100	145	0	140	80	140

### Flexión-Extensión del hombro- tesis actual



Rangos de movilidad (grados)					
Kinect		Estándar [35]		MocAp [16]	
Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior
72	136	0	180	18	52

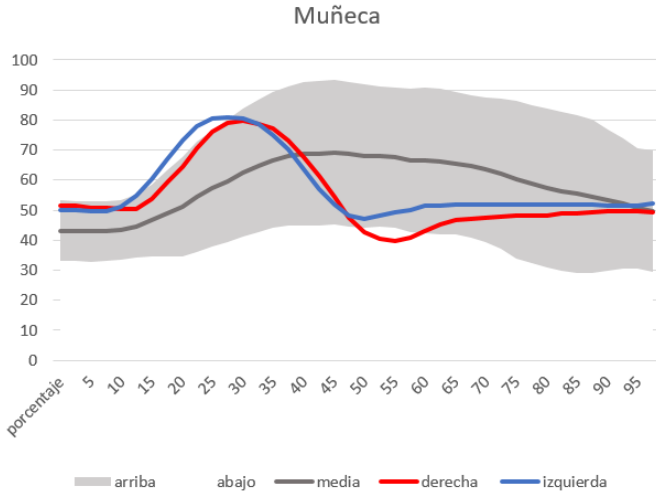
### Abducción-Aducción Horizontal del hombro- tesis actual



Rangos de movilidad (grados)			
Kinect		Estándar [35]	
Inferior	Superior	Inferior	Superior
20	80	0	90

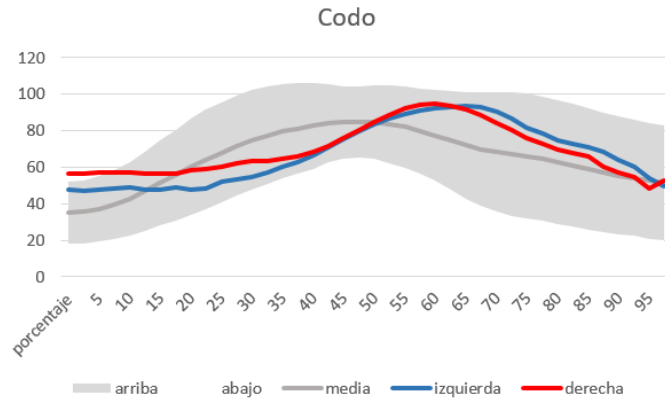
### Actividad 4- Mano bolsillo trasero

Muñeca (Flexión-Extensión)- tesis actual



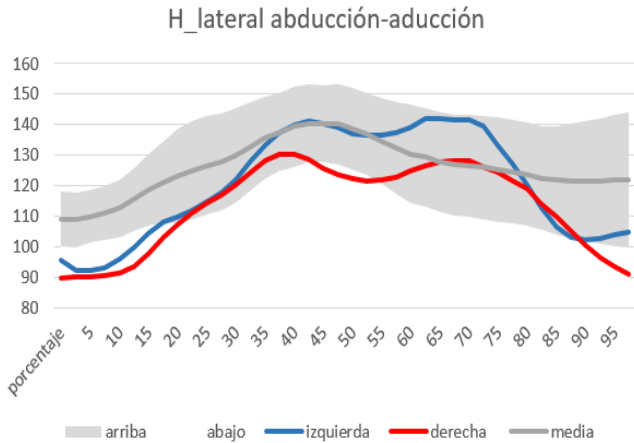
Rangos de movilidad (grados)					
Kinect		Estándar [35]		MocAp [16]	
Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior
30	90	0	80	0	115

Codo (Flexión-Extensión)- tesis actual



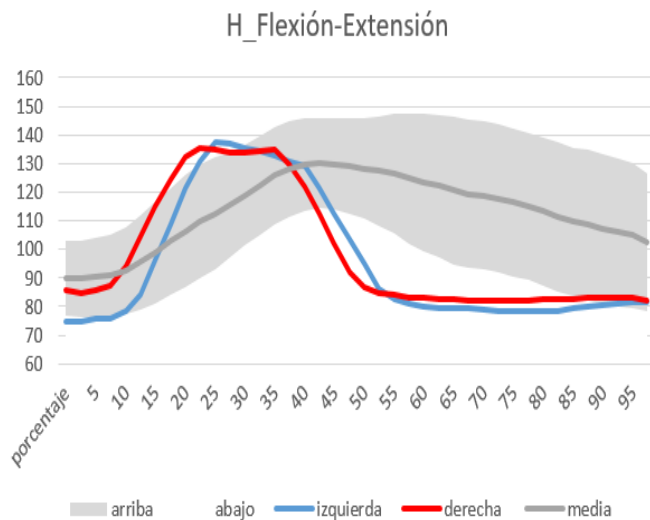
Rangos de movilidad (grados)					
Kinect		Estándar [35]		MocAp [16]	
Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior
0	105	0	150	40	90

Abducción-Aducción Lateral del hombro- tesis actual



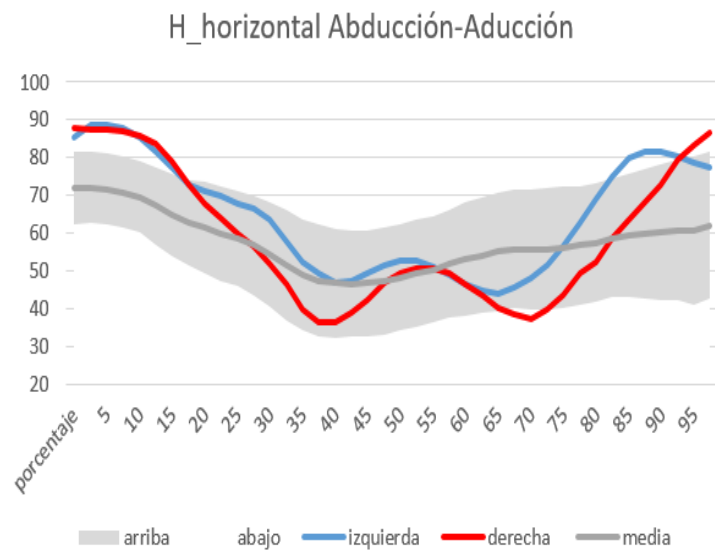
Rangos de movilidad (grados)					
Kinect		Estándar [35]		MocAp [16]	
Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior
100	152	0	140	25	90

### Flexión-Extensión del hombro- tesis actual



Rangos de movilidad (grados)					
Kinect		Estándar [35]		MocAp [16]	
Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior
70	145	0	180	20	62

### Abducción-Aducción Horizontal del hombro- tesis actual

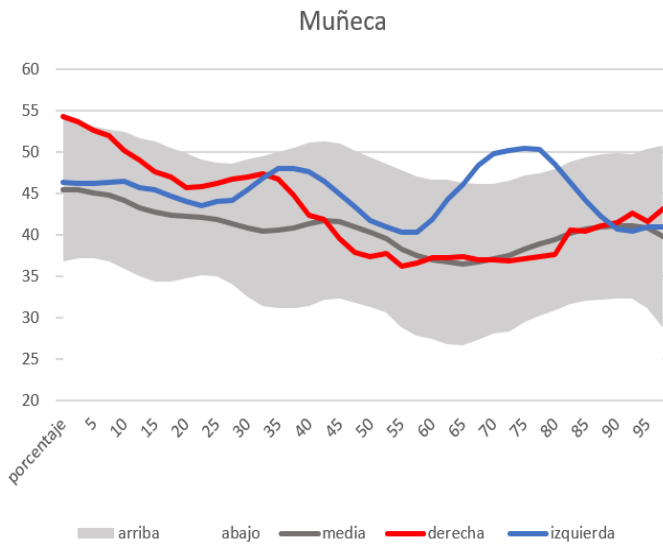


Rangos de movilidad (grados)			
Kinect		Estándar [35]	
Inferior	Superior	Inferior	Superior
20	80	0	90

### Actividad 5- Mano objeto

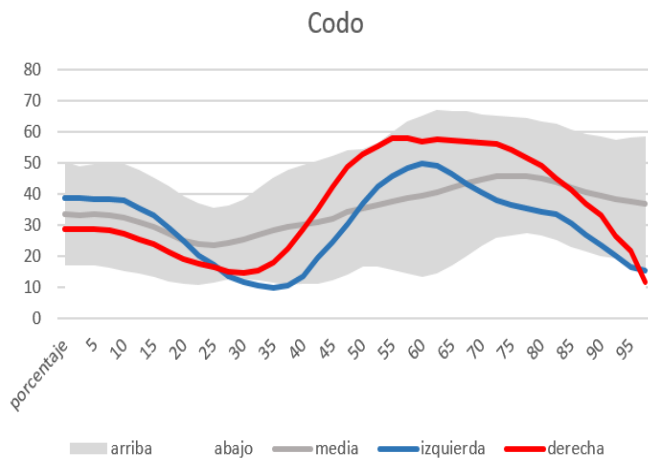
Durante la toma de datos en la actividad 5 (mano a objeto) ocurrió una particularidad; dado que este movimiento requiere un pequeño desplazamiento hacia adelante del sensor; por ende hizo que en algunos datos tomados se perdiera la referencia de algún punto articulado, lo que conllevó a una mala reconstrucción de algunas gráficas.

### Muñeca (Flexión-Extensión)- tesis actual



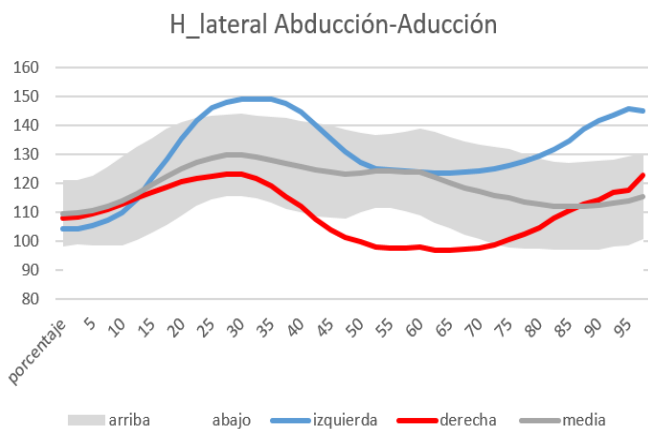
Rangos de movilidad (grados)					
Kinect		Estándar [35]		MocAp [16]	
Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior
38	55	0	80	0	30

### Codo (Flexión-Extensión)- tesis actual



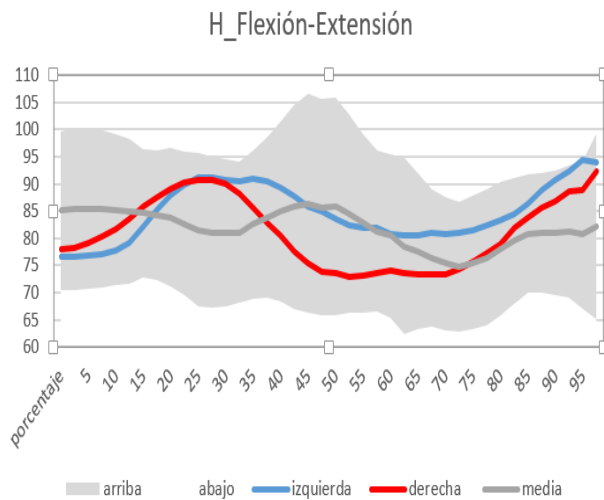
Rangos de movilidad (grados)					
Kinect		Estándar [35]		MocAp [16]	
Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior
20	68	0	150	20	85

### Abducción-Aducción Lateral del hombro- tesis actual



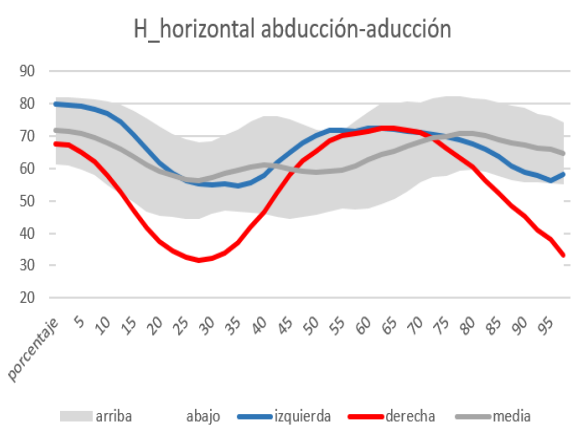
Rangos de movilidad (grados)					
Kinect		Estándar [35]		MocAp [16]	
Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior
100	140	0	140	20	62

### Flexión-Extensión del hombro- tesis actual



Rangos de movilidad (grados)					
Kinect		Estándar [35]		MocAp [16]	
Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior
70	105	0	180	20	35

### Abducción-Aducción Horizontal del hombro- tesis actual



Rangos de movilidad (grados)			
Obtenido		Estándar [35]	
Inferior	Superior	Inferior	Superior
50	80	0	115

### 9.3 Análisis gráfico (miembro superior derecho Vs miembro superior izquierdo)

Dado que cada actividad fue realizada con los dos miembros superiores, es decir (brazo izquierdo y derecho) se propone a continuación a analizar gráficamente las cinco actividades propuestas anteriormente, con el fin de observar las diferencias al momento de reconstruir el movimiento.

Las gráficas están constituidas por dos ejes, grados (vertical) y porcentaje de tiempo (horizontal), adentro de estos ejes se encuentran la reconstrucción del movimiento tanto en el miembro superior derecho como en el izquierdo, representado en la gráfica roja (media de las 10 personas en su miembro superior derecho), la azul (media de las 10 personas en su miembro superior izquierdo).

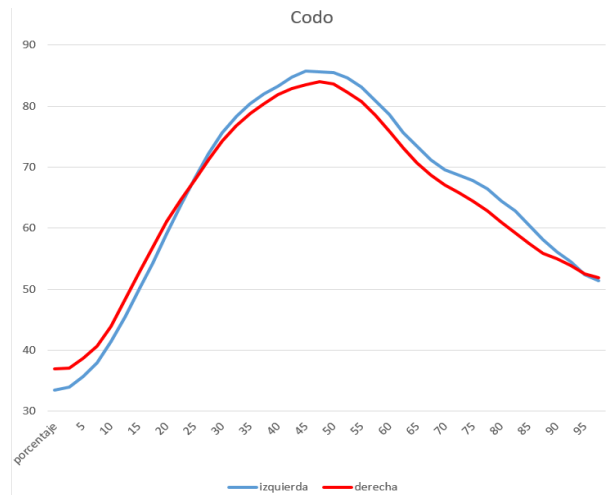
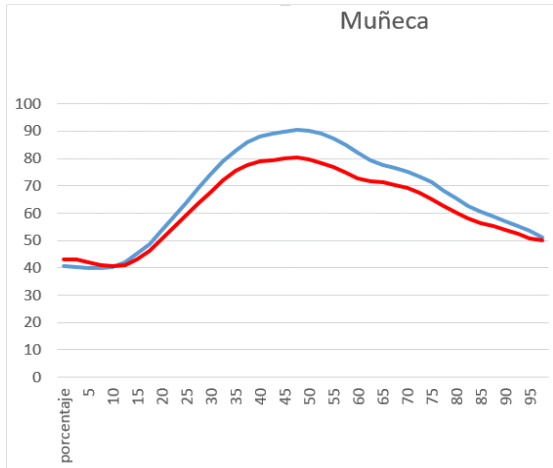
Aclarando que los ángulos analizados son:

**Muñeca:** Flexión-Extensión.

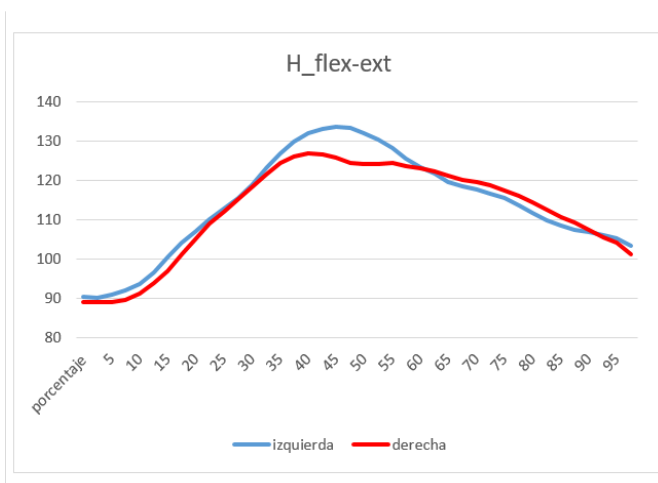
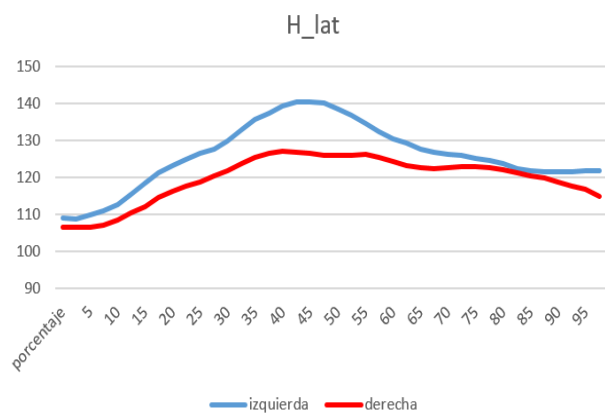
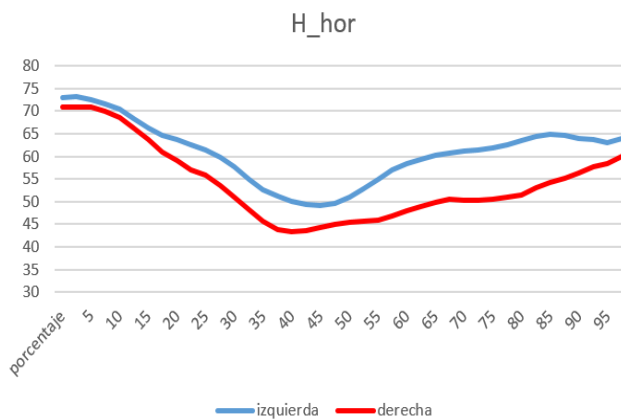
**Codo:** Flexión-Extensión.

**Hombro:** Abducción-Aducción lateral, Abducción-Aducción horizontal y Flexión-Extensión.

## Actividad 1- Mano cabeza



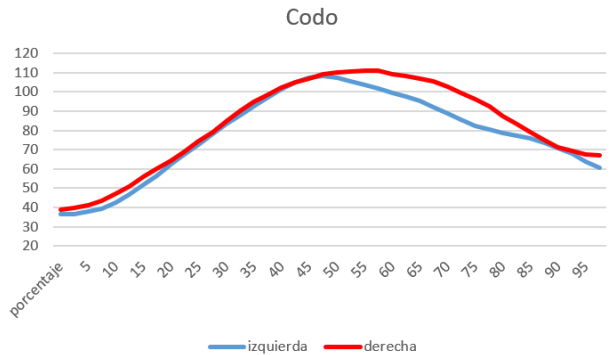
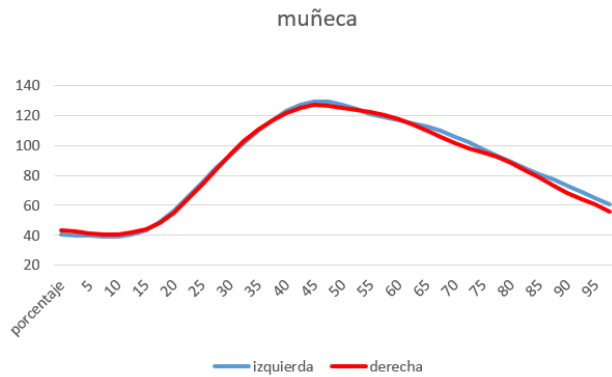
## Ángulos del Hombro



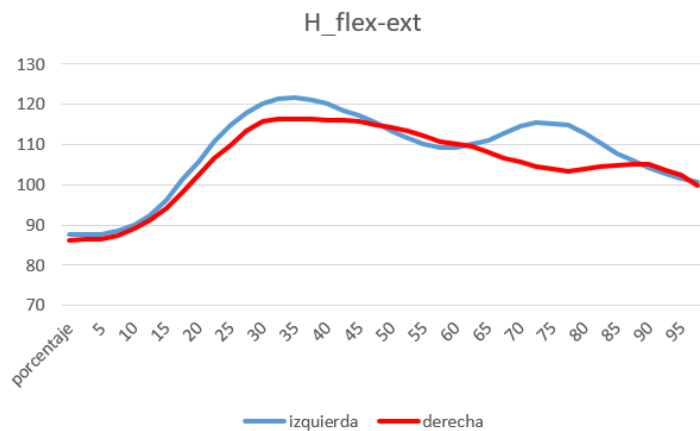
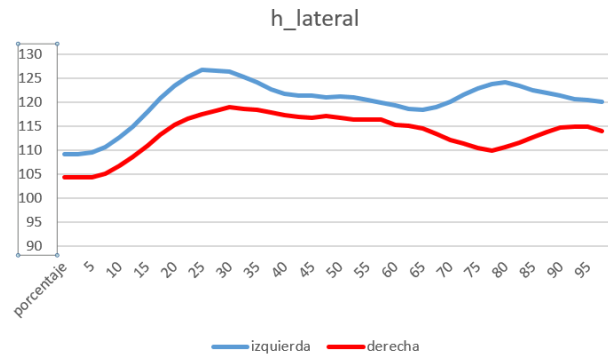
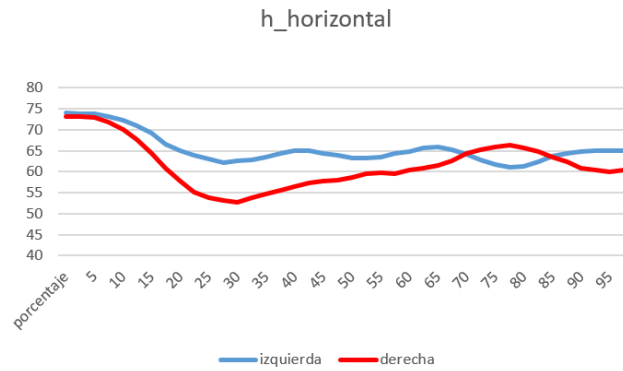
De las 5 graficas la que se nota un poco más la diferencia, entre izquierda y derecha es la abducción-aducción lateral y horizontal, esto observa entre el 45% y 50 % del tiempo, dando como resultado una diferencia de 10 a 15 ángulos en ambas gráficas.

El resto de graficas se nota apenas una diferencia máxima de 5 grados.

## Actividad 2-Mano hombro contralateral



## Ángulos del Hombro

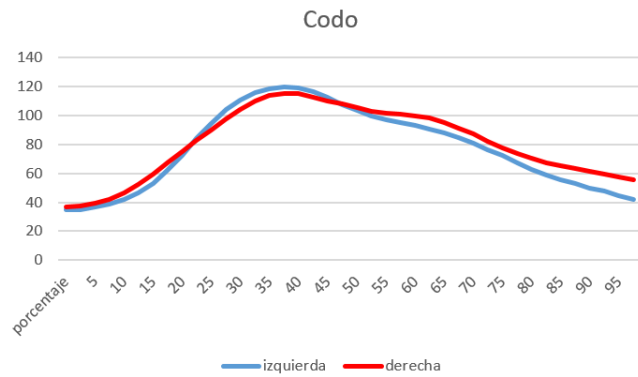
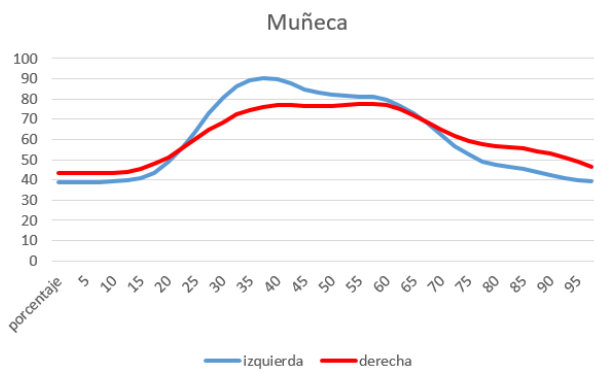


La diferencia más notoria se observa en la abducción-aducción lateral del hombro, reflejándose a partir del 70% del tiempo. La flexión-extensión del hombro junto con la abducción-aducción lateral del hombro son las únicas graficas de esta actividad en donde se produce una vez diferencia de 10 a 15 grados entre izquierda y derecha

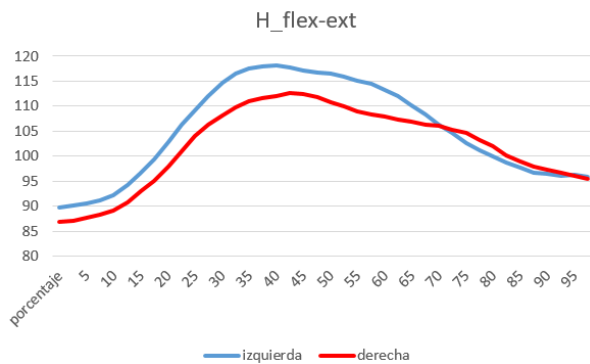
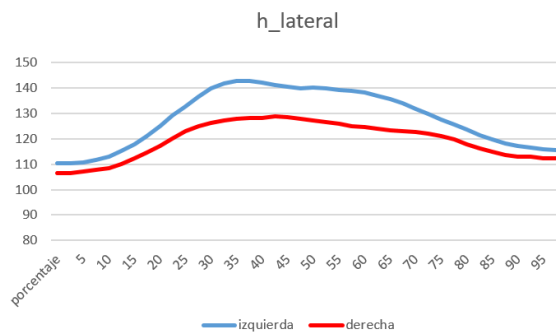
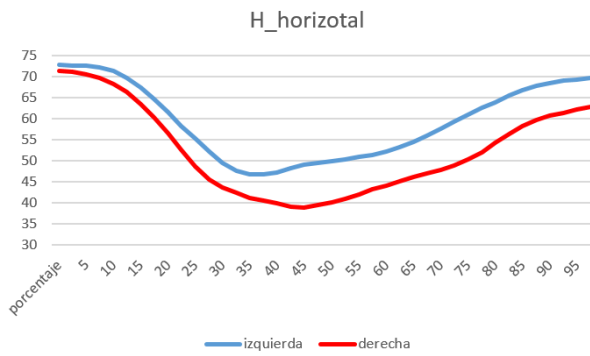
La gran mayoría de las gráficas finalizan su recorrido y convergen en un grado determinado.



### Actividad 3- Mano boca

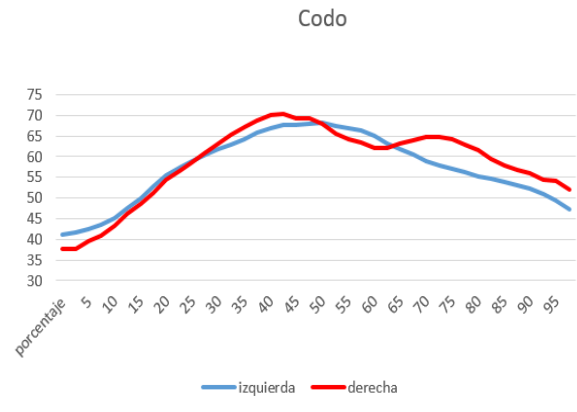
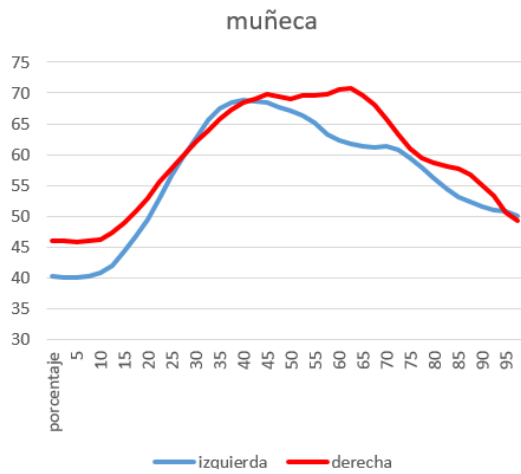


### Ángulos del Hombro

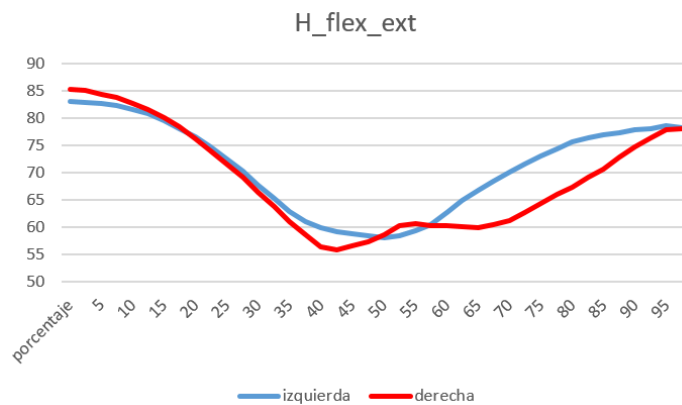
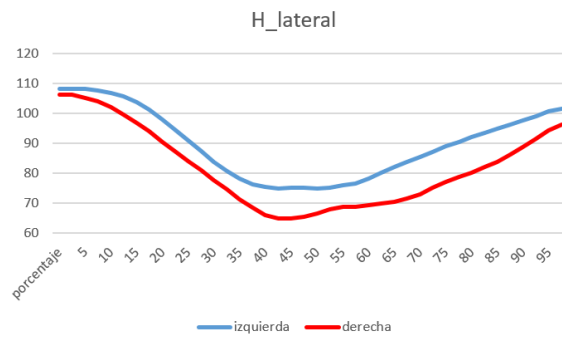
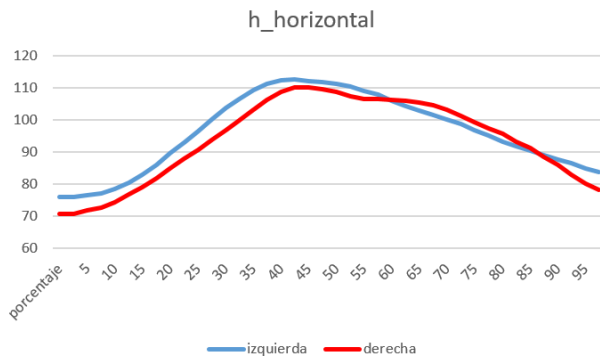


En el comienzo de todas las gráficas se afirma que tanto el miembro superior derecho como el izquierdo, empiezan el movimiento desde una postura estática y finalizan el recorrido convergiendo a un mismo grado o en diferencia a 5 grados entre miembro superior izquierdo y derecho

## Actividad 4- Mano bolsillo trasero

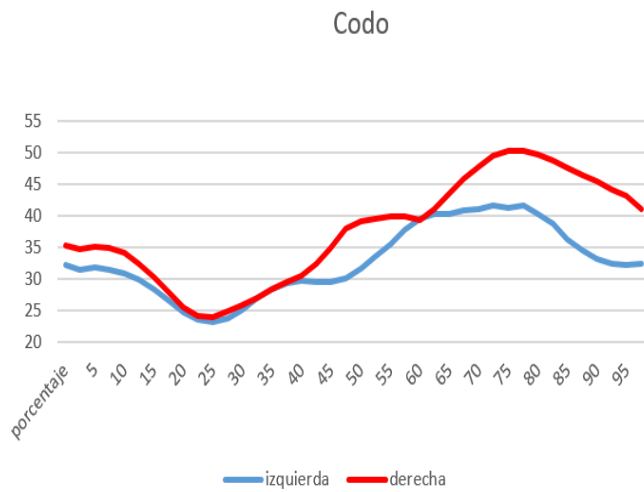
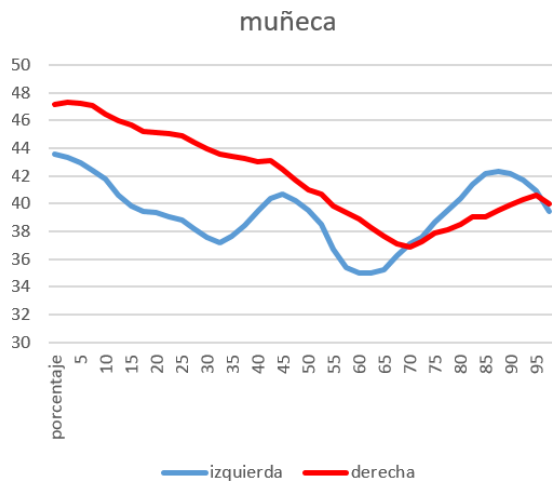


## Ángulos del Hombro

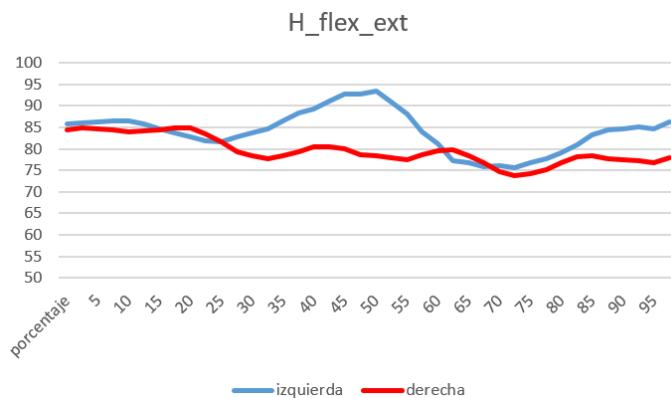
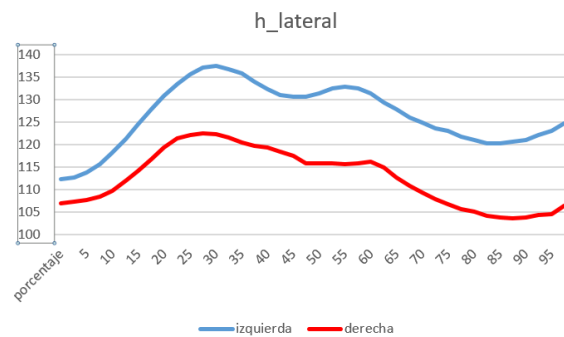
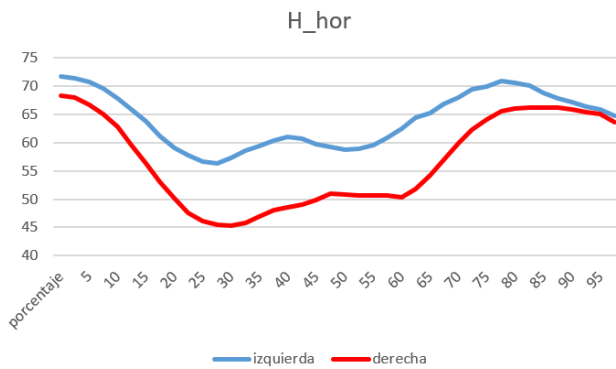


Durante la flexión-extensión de la muñeca se presentó muchos componentes de alta frecuencia, y aunque paso por el filtrado de media móvil, no se pudo reconstruir de la mejor manera, aportando una diferencia entre la señal izquierda y derecha en apenas 10 grados a partir del 55% hasta el 75% del tiempo.

## Actividad 5- Mano objeto



## Ángulos del Hombro



En todas las gráficas se observa grandes diferencias entre la señal izquierda y la señal derecha, esto se debe a que en esta actividad hubo un desplazamiento de la mitad del cuerpo hacia adelante del sensor, dando como resultado la pérdida de referencia de algunos puntos articulados y así el mal cálculo de los ángulos

## 10. CONCLUSIONES

- Aunque este sensor (Kinect) permite calcular diferentes ángulos, posee también una gran desventaja que es la imposibilidad de calcular ángulos mediante la rotación del miembro superior, aunque se puede realizar otros movimientos este cuenta con una limitación específicamente “radial-cubital de la muñeca y de la rotación de la clavícula”. Tomando como ejemplo la muñeca, el Kinect solo puede brindar el efecto de pinza, es decir que cuenta solo con tres puntos articulados (dedo pulgar, dedo medio, unión radio-cubito (carpos)), lo que hace complejo un análisis más profundo en las articulaciones de los dedos de la muñeca.
- Es preocupante que muchos de los especialistas solo conozcan el estudio de marcha, el cual facilita la comprensión del miembro inferior mas no la del miembro superior, además de que se enfocan principalmente en hacer una evaluación del estado inicial-final del paciente, mas no les interesa hacer un seguimiento como tal, y durante estas evaluaciones recurren al goniómetro ya que les permite realizar una medición sencilla y rápida mas no es precisa por lo que cuenta con muy poca resolución, además de que no se puede emplear como un sistema de captura de datos y mucho menos tener un seguimiento de recuperación, es por esto que si se deseara hacer un seguimiento continuo al paciente, este tipo de herramientas (Kinect) ayudaría a analizar los estudios físicos o de funcionalidad.
- El Kinect permite realizar y calcular ángulos para diversos movimientos, como lo son la flexión-extensión de la muñeca, hombro y codo, además de la abducción-aducción tanto lateral como horizontal del hombro, facilitando también el cálculo del ángulo en la inclinación de la clavícula, aportando un avance y acercamiento a los estándares globales de medición del miembro superior.
- Hay clara diferencia entre el Kinect y el MocAp, ya que los puntos articulados del cuerpo humano con los que cuenta el Kinect son menores en comparación con el MocAp, lo que permite al sistema de visión (MocAp) realizar ciertos cálculos de ángulos que el Kinect no logra hacer debido a que no cuenta con los puntos articulados necesarios para el cálculo, a pesar de todo el Kinect se considera una herramienta precisa para el análisis de estos movimientos durante las etapas de recuperación, rehabilitación del miembro superior.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Microsoft Kinect-Based Point-of-Care Gait Assesment Framework for Multiple Sclerosis Patients.
- [2]. Accuracy of the Microsoft Kinect™ for measuring gait parameters during treadmill walking.
- [3]. Automated extraction and validation of children's gait parameters with the Kinect.
- [4]. Accuracy of the Microsoft Kinect sensor for measuring movement in people with Parkinson's.
- [5]. Seguimiento y Análisis del Movimiento del brazo de una persona con lesión traumatológica, usando técnicas de visión artificial.
- [6]. Validity and reliability of Kinect skeleton for measuring-shoulder joint angles: a feasibility study.
- [7]. Estimating Gesture Accuaracy in Motion-Based Health Games.
- [8]. THE FEASIBILITY OF USING KINECT FOR TRANSFER ASSESSMENT.
- [9]. Space-Time Representation of People Base of 3D Skeletal Data: A Review.
- [10]. Structured sparse representation humana action recognition.
- [11]. Segmenting human activities based on HMM using Smartphone inertial sensors.
- [12]. Guía de Atención Integral Basada en la Evidencia para Desordenes Musculoesqueleticos (DME) relacionados con Movimientos Repetidos de Miembros Superiores (Síndrome de Túnel Carpiano, Epicondilitis y Enfermedad de Quervian (GATI-DME).
- [13]. Protocolos de intervención para la prevención de Desordenes Músculos Esqueléticos de miembro superior y de espalda en actividades de Manufactura.
- [14]. MOVIMIENTOS REPETIDOS DE MIEMBRO SUPERIOR.
- [15]. DASH Outcome Measures disabilities of the arm, shoulder and hand [En línea] dirección URL: [http:// www.dash.iwh.co.ca/available-translations](http://www.dash.iwh.co.ca/available-translations).
- [16]. Autor, Santiago Salazar Botero, & Autor, Juan Manuel Camacho. (2014). *PROTOCOLO DE ANALISIS DE MOVIMIENTO EN MIEMBRO SUPERIOR* (Tesis de maestría). Instituto Roosevelt- Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira.
- [17]. Cuánto se demora una cita con médico especialista en otros países. [En línea] dirección URL: <http://blogs.elespectador.com/economia/el-mal-economista/cuanto-se-demora-una-cita-con-medico-especialista-en-otros-paises> [Consulta 07 de marzo de 2017].

- [18]. Carga de la Enfermedad Atribuible al Síndrome de Túnel del Carpo en la Población Trabajadora Colombiana: Una Aproximación a los Costos Indirectos de una Enfermedad. [En línea] dirección URL: <https://www.ispor.org/ValueInHealth/ShowValueInHealth.aspx?Issue=BFF97D74-017D-48A4-AD2E-40EF4424B307> [Consulta 07 de marzo de 2017].
- [19]. Calais Blandine, Germain. (1994). Anatomía para el movimiento.
- [20]. Autor, Juan Eduardo Salvatore, Autor, Jorge Osio, & Autor, Martin Morales. (2014). Detección de objetos utilizando el sensor Kinect. Guayaquil, Ecuador.
- [21]. Autor, Olga Patricia Osorio, & Autor, Francisco Leandro Peña. (2015). *CAPTURA DE MOVIMIENTO UTILIZANDO EL KINECT PARA EL CONTROL DE UNA PLATAFORMA ROBOTICA CONTROLADA DE FORMA REMOTA POR MEDIO DE SEGUIMIENTO DE LOS PUNTOS DE ARTICULACIÓN DEL CUERPO* (Tesis de Pregrado). Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira.
- [22]. Autor, Nakama Martín Ignacio. (2011). Un estudio basado en la Técnica de Mean Shift para Agrupamiento y Seguimiento en video. Universidad Buenos Aires, Argentina.
- [23]. The Random Forest Algorithm. [En Línea]. Dirección URL: <https://towardsdatascience.com/The-random-forest-algorithm-d457d499ffcd>. [Consulta 20 de marzo de 2018].
- [24]. Poole David. (2011). Álgebra lineal Una introducción moderna.
- [25]. F. Mora Walter. (2011). Algebra lineal Vectores, rectas y planos en R3.
- [26]. Accuracy of joinprocesos det angles tracking procesos deusing markerless motion system.
- [27]. Kinematic Validation of a Multi-Kinect v2 Instrumented 10-Meter Walkway for Quantitative Gait Assessments.
- [28]. Accuracy of the Microsoft Kinect™ for measuring gait parameters during treadmill walking.
- [29]. Accuracy of the Microsoft Kinect sensor for measuring movement in people with Parkinson's Disease.
- [30]. RECONOCIMIENTO AUTOMÁTICO DE ACTIVIDADES FÍSICAS HUMANAS EN SISTEMAS MULTIMODALES.
- [31]. How to Use Moving Average Filter to Counter Noisy Data Signal? [En Línea]. Dirección URL <https://medium.com/blueeast/how-to-use-moving-average-filter-to-counter-noisy-data-signal-5b530294a12e> [Consulta 8 de octubre de 2018].
- [32]. Análisis del movimiento de las extremidades superiores aplicado a la rehabilitación física de una persona usando técnicas de visión artificial.

[33]. Movement analysis of upper extremity hemiparesis in patients with cerebrovascular disease: A pilot study.

[34]. Análisis de la cinética del miembro superior durante la propulsión de silla de ruedas.

[35]. Range of Motion-Upper Extremities [En Línea]. Dirección URL: <https://quizlet.com/6828815/range-of-motion-upper-extremities-flash-cards/> [Consulta 20 noviembre 2018].

## 12. ANEXOS

Dado que la base de datos fue construida por menores de edad, se realizó un documento el cual permite al investigador tener el consentimiento de los padres, y luego obtener los datos por medio del sensor. Además se anexa las encuestas realizadas a los especialistas (traumatólogos, fisiatras, fisioterapeutas), por ultimo todos los códigos realizados en matlab.

### Anexo 1. Formato del consentimiento

#### CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA MENOR DE EDAD

Este consentimiento informado es para a quienes se les va a pedir junto con sus padres o cuidadores la participación en el proyecto de investigación llamado "EVALUACION DE MOVILIDAD NORMAL DE MIEMBRO SUPERIOR EN NIÑOS SANOS"

Los profesionales que conformamos el grupo de investigador son:

Santiago Salazar Botero, MD, MSc  
Oscar Alberto Henao, Ph. D  
Andrés Felipe Calvo Salcedo, MSc  
Leidy Esperanza Pamplona Beron, MSc(c)

#### INFORMACIÓN

Yo Santiago Salazar Botero, Cirujano, realizo este trabajo de investigación con el objetivo de mostrar los resultados en la realización protocolo de análisis de movimiento en miembro superior. Le voy a brindar información para invitarlo a que participe. No tiene que decidir hoy si está de acuerdo o no en hacer parte de esta investigación.

Si encuentra alguna pregunta o palabra que no entienda por favor pídale parar, y tomaré tiempo para explicárselas.

Usted ha sido elegido para participar en esta investigación por que su hijo es importante para ello.

De acuerdo con lo anterior, lo estamos invitando a tomar parte de esta investigación.

Si usted acepta hacer parte de esta investigación, el proceso que se realizará será LA EVALUACION DE LA MOVILIDAD COMPUTARIZADA DE LOS MIEMBROS SUPERIORES. Esto quiere decir que se REALIZARA MOVIMIENTOS SENCILLOS DE LAS EXTREMIDADES SUPERIORES Y SE REALIZARA EL REGISTO DE LOS MISMOS POR MEDIO EL PARA LA DETECCIÓN DE MOVIMIENTO.

Los riesgos de estos procedimientos son

Su decisión de participar en este estudio es completamente voluntaria, si usted elige no participar, todos los servicios que la institución le presta no cambiarán. Usted puede cambiar su decisión más tarde y dejar de participar, aún cuando haya aceptado previamente, esto no afectara los servicios que el instituto le preste.

Si usted acepta participar en esta investigación, podrá aportar información que lo beneficie a usted y a la demás población de niños, ya que nos permitirá encontrar un método para EVALUAR LA MOVILIDAD NORMAL DE MIEMBRO SUPERIOR EN NIÑOS SANOS.

La información que recolectamos para este proyecto se mantendrá confidencial, esta será aislada y solo los investigadores podrán verla. Cualquier información recolectada se le asignará un número de identificación en lugar de su nombre. Solamente los investigadores sabrán el vínculo de ese número con el nombre y la información se mantendrá en total reserva. No se compartirá la información ni se le dará a nadie excepto al personal que hace parte de la investigación, quienes son:

**Santiago Salazar Botero, MD, MSc**  
**Oscar Alberto Henao, Ph. D**  
**Andrés Felipe Calvo Salcedo, MSc**  
**Leidy Esperanza Pamplona Beron, MSc(c)**

El conocimiento obtenido de este estudio se compartirá con usted antes de que se haga ampliamente disponible al público. No se compartirá información confidencial. Habrá encuentros académicos donde se divulguen los resultados y luego se publicaran para que otras personas interesadas aprendan de nuestra investigación.

Si usted tiene alguna pregunta puede hacerla ahora e incluso después de que haya terminado la entrevista, si desea hacer preguntas más tarde puede contactar a la siguiente persona:

Nombre:

Cargo: Cirujano Ortopedista

Institución:

Teléfono:

e-mail:



Anexo 2. Consentimiento persona #1

FORMULARIO DE CONSENTIMIENTO/ DISENTIMIENTO

Yo, Gloria Inés Pérez identificado con la cédula No. \_\_\_\_\_  
en pleno uso de mis facultades mentales, manifiesto:

1. Que he sido invitado a que mi hijo participe en una investigación sobre "EVALUACION DE LA MOVILIDAD COMPUTARIZADA DE LOS MIEMBROS SUPERIORES"
2. Que he sido ampliamente informado el proyecto de investigación.
3. Que se me han explicado ampliamente los riesgos generales del procedimiento que son: Además entiendo que existen riesgos de imposible o difícil previsión, los cuales por ésta razón no pueden ser advertidos y en consecuencia declaro expresamente que los acepto.
4. Se me han explicado ampliamente el procedimiento (análisis de movimiento),
5. Autorizo la toma de fotografías y/o filmación de algunas partes de mi cuerpo antes, los cuales pueden ser posteriormente presentados en eventos médico-científicos y/o publicados en revistas o libros especializados con fines científicos y académicos, advirtiendo que en ningún caso será identificado por mi nombre en los mencionados eventos y/o publicaciones.
6. Soy consciente que puede que no haya un beneficio personal y que no será compensado económicamente por mi participación en la investigación, entiendo que este proceso puede ser susceptible a patentes y entiendo que no obtendré un beneficio económico en el futuro si este se convierte en un producto comercial. Se me ha proporcionado el nombre de un investigador que puede ser contactado fácilmente usando el número que se me dio.

Yo he leído la información proporcionada, o me ha sido leída. Yo he tenido la oportunidad de hacer preguntas y se me ha respondido satisfactoriamente.

Por lo anterior

Consiento () voluntariamente que mi hijo participe en la investigación "EVALUACION DE LA MOVILIDAD COMPUTARIZADA DE LOS MIEMBROS SUPERIORES" y entiendo que tengo el derecho de retirarme del estudio en cualquier momento sin que afecte de ninguna forma la atención médica que me proporciona

No consiento () la participación de mi hijo en la investigación "EVALUACION DE LA MOVILIDAD COMPUTARIZADA DE LOS MIEMBROS SUPERIORES"

Nombre del participante: Juan Camilo Guevara Pérez

Fecha: \_\_\_\_\_

Firma: Juan Camilo Guevara Pérez \* Gloria Pérez

Nombre del investigador: Santiago Salazar Botero

Fecha: 30/08/2016

Firma: \_\_\_\_\_

Nombre del testigo: Lidy Esperanza Pamplona Beiro

Fecha: 30/08/2016

Firma: \_\_\_\_\_

Anexo 3. Consentimiento persona #2

FORMULARIO DE CONSENTIMIENTO/ DISENTIMIENTO

Yo, Eliana Nieto identificado con la cédula No. 42726000  
en pleno uso de mis facultades mentales, manifiesto:

1. Que he sido invitado a que mi hijo participe en una investigación sobre "EVALUACION DE LA MOVILIDAD COMPUTARIZADA DE LOS MIEMBROS SUPERIORES"
2. Que he sido ampliamente informado el proyecto de investigación.
3. Que se me han explicado ampliamente los riesgos generales del procedimiento que son: Además entiendo que existen riesgos de imposible o difícil previsión, los cuales por ésta razón no pueden ser advertidos y en consecuencia declaro expresamente que los acepto.
4. Se me han explicado ampliamente el procedimiento (análisis de movimiento),
5. Autorizo la toma de fotografías y/o filmación de algunas partes de mi cuerpo antes, los cuales pueden ser posteriormente presentados en eventos médico-científicos y/o publicados en revistas o libros especializados con fines científicos y académicos, advirtiéndome que en ningún caso será identificado por mi nombre en los mencionados eventos y/o publicaciones.
6. Soy consciente que puede que no haya un beneficio personal y que no será compensado económicamente por mi participación en la investigación, entiendo que este proceso puede ser susceptible a patentes y entiendo que no obtendré un beneficio económico en el futuro si este se convierte en un producto comercial. Se me ha proporcionado el nombre de un investigador que puede ser contactado fácilmente usando el número que se me dio.

Yo he leído la información proporcionada, o me ha sido leída. Yo he tenido la oportunidad de hacer preguntas y se me ha respondido satisfactoriamente.

Por lo anterior

Consiento ( ) voluntariamente que mi hijo participe en la investigación "EVALUACION DE LA MOVILIDAD COMPUTARIZADA DE LOS MIEMBROS SUPERIORES" y entiendo que tengo el derecho de retirarme del estudio en cualquier momento sin que afecte de ninguna forma la atención médica que me proporciona

No consiento ( ) la participación de mi hijo en la investigación "EVALUACION DE LA MOVILIDAD COMPUTARIZADA DE LOS MIEMBROS SUPERIORES"

Nombre del participante: Leidy Johana Gonzalez Nieto

Fecha: \_\_\_\_\_

Firma: Leidy Johana x Eliana Nieto P.

Nombre del investigador: Santiago Salazar Botero

Fecha: 30/08/2016

Firma: \_\_\_\_\_

Nombre del testigo: Andrés Felipe Calvo

Fecha: 30/08/2016

Firma: \_\_\_\_\_

Anexo 4. Consentimiento persona #3

FORMULARIO DE CONSENTIMIENTO/ DISENTIMIENTO

Numero de cedula.

Yo, Mary Luz Aguado identificado con la cédula No. 31585279,  
en pleno uso de mis facultades mentales, manifiesto:

1. Que he sido invitado a que mi hijo participe en una investigación sobre "EVALUACION DE LA MOVILIDAD COMPUTARIZADA DE LOS MIEMBROS SUPERIORES"
2. Que he sido ampliamente informado el proyecto de investigación.
3. Que se me han explicado ampliamente los riesgos generales del procedimiento que son: Además entiendo que existen riesgos de imposible o difícil previsión, los cuales por ésta razón no pueden ser advertidos y en consecuencia declaro expresamente que los acepto.
4. Se me han explicado ampliamente el procedimiento (análisis de movimiento),
5. Autorizo la toma de fotografías y/o filmación de algunas partes de mi cuerpo antes, los cuales pueden ser posteriormente presentados en eventos médico-científicos y/o publicados en revistas o libros especializados con fines científicos y académicos, advirtiéndome que en ningún caso seré identificado por mi nombre en los mencionados eventos y/o publicaciones.
6. Soy consciente que puede que no haya un beneficio personal y que no seré compensado económicamente por mi participación en la investigación, entiendo que este proceso puede ser susceptible a patentes y entiendo que no obtendré un beneficio económico en el futuro si este se convierte en un producto comercial. Se me ha proporcionado el nombre de un investigador que puede ser contactado fácilmente usando el número que se me dio.

Yo he leído la información proporcionada, o me ha sido leída. Yo he tenido la oportunidad de hacer preguntas y se me ha respondido satisfactoriamente.

Por lo anterior

Consiento (  ) voluntariamente que mi hijo participe en la investigación "EVALUACION DE LA MOVILIDAD COMPUTARIZADA DE LOS MIEMBROS SUPERIORES" y entiendo que tengo el derecho de retirarme del estudio en cualquier momento sin que afecte de ninguna forma la atención médica que me proporciona

No consiento (  ) la participación de mi hijo en la investigación "EVALUACION DE LA MOVILIDAD COMPUTARIZADA DE LOS MIEMBROS SUPERIORES"

Nombre del participante: Nicolay Saldarraga Aguado

Fecha: \_\_\_\_\_

Firma: Nicolay Saldarraga \* Maria Rosa  
Nombre de mamá.

Nombre del investigador: Pablo Salazar

Fecha: 30/08/2016

Firma: \_\_\_\_\_

Nombre del testigo: Andrés Felipe Calvo

Fecha: 30/08/2016

Firma: \_\_\_\_\_



Anexo 5. Consentimiento persona #4

FORMULARIO DE CONSENTIMIENTO/ DISENTIMIENTO

Yo, Mara Gañan identificado con la cédula No. 42 01944  
en pleno uso de mis facultades mentales, manifiesto:

1. Que he sido invitado a que mi hijo participe en una investigación sobre "EVALUACION DE LA MOVILIDAD COMPUTARIZADA DE LOS MIEMBROS SUPERIORES"
2. Que he sido ampliamente informado el proyecto de investigación.
3. Que se me han explicado ampliamente los riesgos generales del procedimiento que son: Además entiendo que existen riesgos de imposible o difícil previsión, los cuales por ésta razón no pueden ser advertidos y en consecuencia declaro expresamente que los acepto.
4. Se me han explicado ampliamente el procedimiento (análisis de movimiento),
5. Autorizo la toma de fotografías y/o filmación de algunas partes de mi cuerpo antes, los cuales pueden ser posteriormente presentados en eventos médico-científicos y/o publicados en revistas o libros especializados con fines científicos y académicos, advirtiéndome que en ningún caso será identificado por mi nombre en los mencionados eventos y/o publicaciones.
6. Soy consciente que puede que no haya un beneficio personal y que no será compensado económicamente por mi participación en la investigación, entiendo que este proceso puede ser susceptible a patentes y entiendo que no obtendré un beneficio económico en el futuro si este se convierte en un producto comercial. Se me ha proporcionado el nombre de un investigador que puede ser contactado fácilmente usando el número que se me dio.

Yo he leído la información proporcionada, o me ha sido leída. Yo he tenido la oportunidad de hacer preguntas y se me ha respondido satisfactoriamente.

Por lo anterior

Consiento (  ) voluntariamente que mi hijo participe en la investigación "EVALUACION DE LA MOVILIDAD COMPUTARIZADA DE LOS MIEMBROS SUPERIORES" y entiendo que tengo el derecho de retirarme del estudio en cualquier momento sin que afecte de ninguna forma la atención médica que me proporciona

No consiento (  ) la participación de mi hijo en la investigación "EVALUACION DE LA MOVILIDAD COMPUTARIZADA DE LOS MIEMBROS SUPERIORES"

Nombre del participante: Santiago Gómez

Fecha: \_\_\_\_\_

Firma: Santiago Gómez x María Gañan

Nombre del investigador: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

Firma: \_\_\_\_\_

Nombre del testigo: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

Firma: \_\_\_\_\_

Anexo 6. Consentimiento persona #5

FORMULARIO DE CONSENTIMIENTO/ DISENTIMIENTO

Yo, Luz Yanira Mosquera identificado con la cédula No. 35587298,  
en pleno uso de mis facultades mentales, manifiesto:

1. Que he sido invitado a que mi hijo participe en una investigación sobre "EVALUACION DE LA MOVILIDAD COMPUTARIZADA DE LOS MIEMBROS SUPERIORES"
2. Que he sido ampliamente informado el proyecto de investigación.
3. Que se me han explicado ampliamente los riesgos generales del procedimiento que son: Además entiendo que existen riesgos de imposible o difícil previsión, los cuales por esta razón no pueden ser advertidos y en consecuencia declaro expresamente que los acepto.
4. Se me han explicado ampliamente el procedimiento (análisis de movimiento),
5. Autorizo la toma de fotografías y/o filmación de algunas partes de mi cuerpo antes, los cuales pueden ser posteriormente presentados en eventos médico-científicos y/o publicados en revistas o libros especializados con fines científicos y académicos, advirtiendo que en ningún caso será identificado por mi nombre en los mencionados eventos y/o publicaciones.
6. Soy consciente que puede que no haya un beneficio personal y que no seré compensado económicamente por mi participación en la investigación, entiendo que este proceso puede ser susceptible a patentes y entiendo que no obtendré un beneficio económico en el futuro si este se convierte en un producto comercial. Se me ha proporcionado el nombre de un investigador que puede ser contactado fácilmente usando el número que se me dio.

Yo he leído la información proporcionada, o me ha sido leída. Yo he tenido la oportunidad de hacer preguntas y se me ha respondido satisfactoriamente.

Por lo anterior

Consiento ( ) voluntariamente que mi hijo participe en la investigación "EVALUACION DE LA MOVILIDAD COMPUTARIZADA DE LOS MIEMBROS SUPERIORES" y entiendo que tengo el derecho de retirarme del estudio en cualquier momento sin que afecte de ninguna forma la atención médica que me proporciona

No consiento ( ) la participación de mi hijo en la investigación "EVALUACION DE LA MOVILIDAD COMPUTARIZADA DE LOS MIEMBROS SUPERIORES"

Nombre del participante: Juan David Córdoba

Fecha:

Firma: Juan David Córdoba Mosquera \* Luz Yanira Mosquera

Nombre del investigador: Santiago Salazar Botero

Fecha: 30/08/2016

Firma: 

Nombre del testigo: Andrés Felipe Celis

Fecha: 30/08/2016

Firma: \_\_\_\_\_

Anexo 7. Consentimiento persona #6

FORMULARIO DE CONSENTIMIENTO/ DISENTIMIENTO

Yo, Keneddy Vivas identificado con la cédula No. 16310082,  
en pleno uso de mis facultades mentales, manifiesto:

1. Que he sido invitado a que mi hijo participe en una investigación sobre "EVALUACION DE LA MOVILIDAD COMPUTARIZADA DE LOS MIEMBROS SUPERIORES"
2. Que he sido ampliamente informado el proyecto de investigación.
3. Que se me han explicado ampliamente los riesgos generales del procedimiento que son: Además entiendo que existen riesgos de imposible o difícil previsión, los cuales por ésta razón no pueden ser advertidos y en consecuencia declaro expresamente que los acepto.
4. Se me han explicado ampliamente el procedimiento (análisis de movimiento),
5. Autorizo la toma de fotografías y/o filmación de algunas partes de mi cuerpo antes, los cuales pueden ser posteriormente presentados en eventos médico-científicos y/o publicados en revistas o libros especializados con fines científicos y académicos, advirtiendo que en ningún caso será identificado por mi nombre en los mencionados eventos y/o publicaciones.
6. Soy consciente que puede que no haya un beneficio personal y que no será compensado económicamente por mi participación en la investigación, entiendo que este proceso puede ser susceptible a patentes y entiendo que no obtendré un beneficio económico en el futuro si este se convierte en un producto comercial. Se me ha proporcionado el nombre de un investigador que puede ser contactado fácilmente usando el número que se me dio.

Yo he leído la información proporcionada, o me ha sido leída. Yo he tenido la oportunidad de hacer preguntas y se me ha respondido satisfactoriamente.

Por lo anterior  
Consiento (  ) voluntariamente que mi hijo participe en la investigación "EVALUACION DE LA MOVILIDAD COMPUTARIZADA DE LOS MIEMBROS SUPERIORES" y entiendo que tengo el derecho de retirarme del estudio en cualquier momento sin que afecte de ninguna forma la atención médica que me proporciona

No consiento (  ) la participación de mi hijo en la investigación "EVALUACION DE LA MOVILIDAD COMPUTARIZADA DE LOS MIEMBROS SUPERIORES"

Nombre del participante: María Alejandra Londoño

Fecha: \_\_\_\_\_

Firma: María Alejandra Londoño García x Kennedy Vivas

Nombre del investigador: Santiago Salazar Estera

Fecha: 30/08/2016

Firma: \_\_\_\_\_

Nombre del testigo: Andrés Felipe Calvo

Fecha: 30/08/2016

Firma: \_\_\_\_\_



Anexo 8. Consentimiento persona #7

FORMULARIO DE CONSENTIMIENTO/ DISENTIMIENTO

Yo, Aucelly Morán identificado con la cédula No. 30112395  
en pleno uso de mis facultades mentales, manifiesto:

1. Que he sido invitado a que mi hijo participe en una investigación sobre "EVALUACION DE LA MOVILIDAD COMPUTARIZADA DE LOS MIEMBROS SUPERIORES"
2. Que he sido ampliamente informado el proyecto de investigación.
3. Que se me han explicado ampliamente los riesgos generales del procedimiento que son: Además entiendo que existen riesgos de imposible o difícil previsión, los cuales por ésta razón no pueden ser advertidos y en consecuencia declaro expresamente que los acepto.
4. Se me han explicado ampliamente el procedimiento (análisis de movimiento),
5. Autorizo la toma de fotografías y/o filmación de algunas partes de mi cuerpo antes, los cuales pueden ser posteriormente presentados en eventos médico-científicos y/o publicados en revistas o libros especializados con fines científicos y académicos, advirtiendo que en ningún caso será identificado por mi nombre en los mencionados eventos y/o publicaciones.
6. Soy consciente que puede que no haya un beneficio personal y que no será compensado económicamente por mi participación en la investigación, entiendo que este proceso puede ser susceptible a patentes y entiendo que no obtendré un beneficio económico en el futuro si este se convierte en un producto comercial. Se me ha proporcionado el nombre de un investigador que puede ser contactado fácilmente usando el número que se me dio.

Yo he leído la información proporcionada, o me ha sido leída. Yo he tenido la oportunidad de hacer preguntas y se me ha respondido satisfactoriamente.

Por lo anterior

Consiento (  ) voluntariamente que mi hijo participe en la investigación "EVALUACION DE LA MOVILIDAD COMPUTARIZADA DE LOS MIEMBROS SUPERIORES" y entiendo que tengo el derecho de retirarme del estudio en cualquier momento sin que afecte de ninguna forma la atención médica que me proporciona

No consiento (  ) la participación de mi hijo en la investigación "EVALUACION DE LA MOVILIDAD COMPUTARIZADA DE LOS MIEMBROS SUPERIORES"

Nombre del participante: Alexandra Guapacha Morán

Fecha: \_\_\_\_\_

Firma: ALEXANDRA GUAPACHA MORALES - x mari'graseli' morales

Nombre del investigador: Santiago Salazar Bastero

Fecha: 30/08/2016

Firma: \_\_\_\_\_

Nombre del testigo: Lady Esperanza Pamplona Beron

Fecha: 30/08/2016

Firma: \_\_\_\_\_

Anexo 9. Consentimiento persona #8

FORMULARIO DE CONSENTIMIENTO/ DISENTIMIENTO

Yo, Leidy Johana Valencia identificado con la cédula No. 1088295344  
en pleno uso de mis facultades mentales, manifiesto:

1. Que he sido invitado a que mi hijo participe en una investigación sobre "EVALUACION DE LA MOVILIDAD COMPUTARIZADA DE LOS MIEMBROS SUPERIORES"
2. Que he sido ampliamente informado el proyecto de investigación.
3. Que se me han explicado ampliamente los riesgos generales del procedimiento que son: Además entiendo que existen riesgos de imposible o difícil previsión, los cuales por ésta razón no pueden ser advertidos y en consecuencia declaro expresamente que los acepto.
4. Se me han explicado ampliamente el procedimiento (análisis de movimiento),
5. Autorizo la toma de fotografías y/o filmación de algunas partes de mi cuerpo antes, los cuales pueden ser posteriormente presentados en eventos médico-científicos y/o publicados en revistas o libros especializados con fines científicos y académicos, advirtiéndome que en ningún caso será identificado por mi nombre en los mencionados eventos y/o publicaciones.
6. Soy consciente que puede que no haya un beneficio personal y que no será compensado económicamente por mi participación en la investigación, entiendo que este proceso puede ser susceptible a patentes y entiendo que no obtendré un beneficio económico en el futuro si este se convierte en un producto comercial. Se me ha proporcionado el nombre de un investigador que puede ser contactado fácilmente usando el número que se me dio.

Yo he leído la información proporcionada, o me ha sido leída. Yo he tenido la oportunidad de hacer preguntas y se me ha respondido satisfactoriamente.

Por lo anterior

Consiento  voluntariamente que mi hijo participe en la investigación "EVALUACION DE LA MOVILIDAD COMPUTARIZADA DE LOS MIEMBROS SUPERIORES" y entiendo que tengo el derecho de retirarme del estudio en cualquier momento sin que afecte de ninguna forma la atención médica que me proporciona

No consiento (  ) la participación de mi hijo en la investigación "EVALUACION DE LA MOVILIDAD COMPUTARIZADA DE LOS MIEMBROS SUPERIORES"

Nombre del participante: Juan Camilo Montoya

Fecha: \_\_\_\_\_

Firma: Juan Camilo Montoya y Leidy Johana Valencia P.

Nombre del investigador: Santiago Salazar Botero

Fecha: 30/08/2016

Firma: \_\_\_\_\_

Nombre del testigo: Leidy Esperanza Pamplona Berón

Fecha: 30/08/2016

Firma: \_\_\_\_\_



Anexo 10. Consentimiento persona #9

FORMULARIO DE CONSENTIMIENTO/ DISENTIMIENTO

Yo, Kelly Lorena Vallejo identificado con la cédula No. 1098 268699  
en pleno uso de mis facultades mentales, manifiesto:

1. Que he sido invitado a que mi hijo participe en una investigación sobre "EVALUACION DE LA MOVILIDAD COMPUTARIZADA DE LOS MIEMBROS SUPERIORES"
2. Que he sido ampliamente informado el proyecto de investigación.
3. Que se me han explicado ampliamente los riesgos generales del procedimiento que son: Además entiendo que existen riesgos de imposible o difícil previsión, los cuales por ésta razón no pueden ser advertidos y en consecuencia declaro expresamente que los acepto.
4. Se me han explicado ampliamente el procedimiento (análisis de movimiento),
5. Autorizo la toma de fotografías y/o filmación de algunas partes de mi cuerpo antes, los cuales pueden ser posteriormente presentados en eventos médico-científicos y/o publicados en revistas o libros especializados con fines científicos y académicos, advirtiendo que en ningún caso será identificado por mi nombre en los mencionados eventos y/o publicaciones.
6. Soy consciente que puede que no haya un beneficio personal y que no seré compensado económicamente por mi participación en la investigación, entiendo que este proceso puede ser susceptible a patentes y entiendo que no obtendré un beneficio económico en el futuro si este se convierte en un producto comercial. Se me ha proporcionado el nombre de un investigador que puede ser contactado fácilmente usando el número que se me dio.

Yo he leído la información proporcionada, o me ha sido leída. Yo he tenido la oportunidad de hacer preguntas y se me ha respondido satisfactoriamente.

Por lo anterior  
Consiento (  ) voluntariamente que mi hijo participe en la investigación "EVALUACION DE LA MOVILIDAD COMPUTARIZADA DE LOS MIEMBROS SUPERIORES" y entiendo que tengo el derecho de retirarme del estudio en cualquier momento sin que afecte de ninguna forma la atención médica que me proporciona

No consiento (  ) la participación de mi hijo en la investigación "EVALUACION DE LA MOVILIDAD COMPUTARIZADA DE LOS MIEMBROS SUPERIORES"

Nombre del participante: Yan Alexander Morales V.  
Fecha: \_\_\_\_\_  
Firma: Yan Alexander Morales V. x Kelly Lorena U.

Nombre del investigador: Santiago Salazar Botero  
Fecha: 20/08/2016  
Firma: \_\_\_\_\_

Nombre del testigo: Leidy Esperanza Pamplona Beron  
Fecha: 20/08/2016  
Firma: \_\_\_\_\_

Anexo 11. Consentimiento persona #10

FORMULARIO DE CONSENTIMIENTO/ DISENTIMIENTO

Yo, Gloria E. Valijo identificada con la cédula No. 473457915,  
en pleno uso de mis facultades mentales, manifiesto:

1. Que he sido invitado a que mi hijo participe en una investigación sobre "EVALUACION DE LA MOVILIDAD COMPUTARIZADA DE LOS MIEMBROS SUPERIORES"
2. Que he sido ampliamente informado el proyecto de investigación.
3. Que se me han explicado ampliamente los riesgos generales del procedimiento que son: Además entiendo que existen riesgos de imposible o difícil previsión, los cuales por ésta razón no pueden ser advertidos y en consecuencia declaro expresamente que los acepto.
4. Se me han explicado ampliamente el procedimiento (análisis de movimiento),
5. Autorizo la toma de fotografías y/o filmación de algunas partes de mi cuerpo antes, los cuales pueden ser posteriormente presentados en eventos médico-científicos y/o publicados en revistas o libros especializados con fines científicos y académicos, advirtiendo que en ningún caso será identificado por mi nombre en los mencionados eventos y/o publicaciones.
6. Soy consciente que puede que no haya un beneficio personal y que no será compensado económicamente por mi participación en la investigación, entiendo que este proceso puede ser susceptible a patentes y entiendo que no obtendré un beneficio económico en el futuro si este se convierte en un producto comercial. Se me ha proporcionado el nombre de un investigador que puede ser contactado fácilmente usando el número que se me dio.

Yo he leído la información proporcionada, o me ha sido leída. Yo he tenido la oportunidad de hacer preguntas y se me ha respondido satisfactoriamente.

Por lo anterior

Consiento (  ) voluntariamente que mi hijo participe en la investigación "EVALUACION DE LA MOVILIDAD COMPUTARIZADA DE LOS MIEMBROS SUPERIORES" y entiendo que tengo el derecho de retirarme del estudio en cualquier momento sin que afecte de ninguna forma la atención médica que me proporciona

No consiento (  ) la participación de mi hijo en la investigación "EVALUACION DE LA MOVILIDAD COMPUTARIZADA DE LOS MIEMBROS SUPERIORES"

Nombre del participante: Santiago Osorio

Fecha: \_\_\_\_\_

Firma: Santiago Osorio \*don. uc. mil. ceo.

Nombre del investigador: Santiago Salazar Estero

Fecha: 30/08/2016

Firma: [Firma]

Nombre del testigo: Lidy Esperanza Pamplona Beion

Fecha: 30/08/2016

Firma: \_\_\_\_\_

## Anexo 12. Graficas realizadas en matlab de la actividad #1

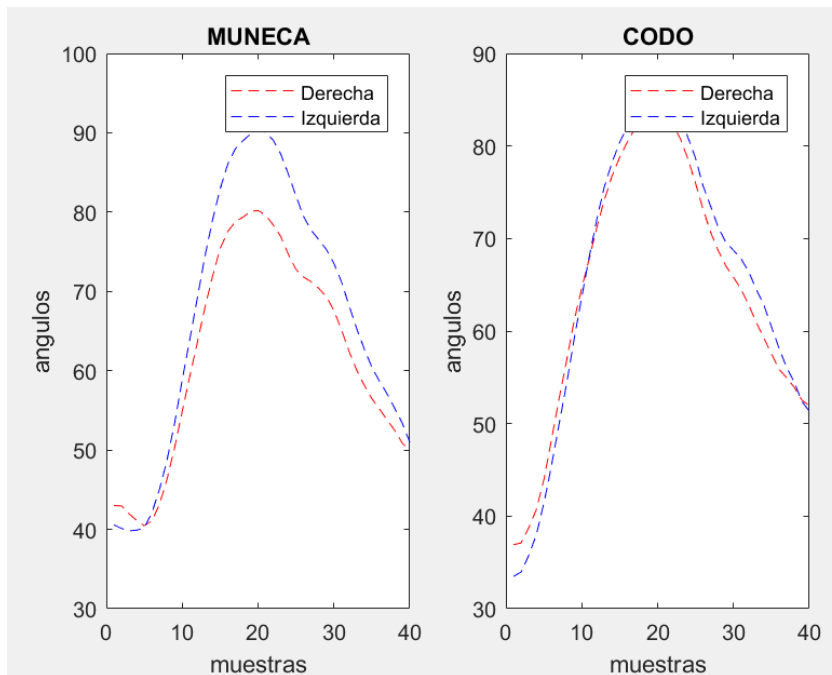


Figura anx1. Grafica Actividad 1 en matlab

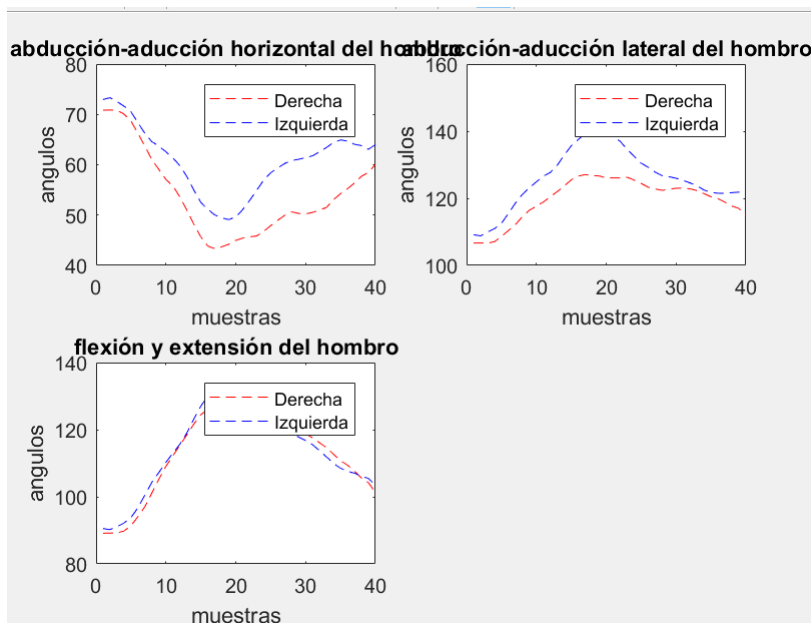


Figura anx2. Grafica Actividad 1 en matlab

## Anexo 13. Código (obtención de ángulos) en matlab del lado derecho del miembro superior

```
1 %% Lado Derecho
2 clc
3 clear all
4 close all
5 cont1=0;
6
7 for p=1:10 % Son 10 personas
8     for int=1:3 % 3 intentos
9
10        filepathr=['Persona', ' ', num2str(p), '_Actividad 1_Intento', ' ', num2str(int), 'ManoDerecha.mat'];
11        load(filepathr)
12        cont1=cont1+1;
13
14        for i=1:40
15            xyz=array(1,i).appended_array;
16            xr(:,i)=xyz(:,1);
17            yr(:,i)=xyz(:,2);
18            zr(:,i)=xyz(:,3);
19
20
21            % ***** MUÑECA DERECHA *****
22            u1=xyz(11,:)-xyz(10,:);
23            v11=xyz(12,:)-xyz(11,:);
24            v1= v11-xyz(14,:);
25
26            a1=(dot(u1,v1)); % producto punto entre los dos vectores
27            b1= (sqrt(u1(2)^2+u1(3)^2))* (sqrt(v1(1)^2+v1(2)^2+v1(3)^2));
28            angulo0(i)=(acos(a1/b1)*180)/pi;
29
30            if(angulo0(i) > 170|angulo0(i)<1)
31                angulo0(i)=angulo0(i-1);
32                angulo00=(smooth(angulo0))';
33
34        else
35            angulo0(i)=(acos(a1/b1)*180)/pi;
36            angulo00=(smooth(angulo0))';
37        end
38
39        %***** CODO DERECHO *****
40        u=xyz(10,:)-xyz(9,:);
41        v=xyz(11,:)-xyz(10,:);
42        a=dot(u,v); % producto punto entre los dos vectores
43        b= (sqrt(u(1)^2+u(2)^2+u(3)^2))* (sqrt(v(1)^2+v(2)^2+v(3)^2));
44        angulo1(i)=(acos(a/b)*180)/pi;
45        angulo101=(smooth(angulo1))';
46        % plot(angulo1);
47        %***** Angulos HOMBRO *****
48
49        %***** Angulo Abducción y Aducción horizontal del hombro *****
50        t1=xyz(21,:)-xyz(5,:);
51        t3=xyz(3,:)-xyz(21,:);
52        t2=cross(t1,t3); % producto cruz
53        h1=xyz(9,:)-xyz(10,:);
54
55        a1=dot(t2,h1); % producto punto entre los dos vectores
56        b1= (sqrt(h1(2)^2+h1(3)^2))* (sqrt(t2(1)^2+t2(2)^2+t2(3)^2));
57        angulo2(i)=(acos(a1/b1)*180)/pi;
58
59        if(angulo2(i) > 170|angulo2(i)<1)
60            angulo2(i)=angulo2(i-1);
61            angulo002=(smooth(angulo2))';
62        else
63            angulo2(i)=(acos(a1/b1)*180)/pi;
64            angulo002=(smooth(angulo2))';
65        end
66    end
67 end
```

```

##### Angulo Abducción y Aducción lateral del hombro #####

t23=xyz(21,:)-xyz(9,:);
t33=xyz(3,:)-xyz(21,:);
t13=cross(t23,t33); % producto cruz
h13=xyz(9,:)-xyz(10,:);

a3=dot(t13,h13); % producto punto entre los dos vectores
b3= (sqrt(h13(2)^2+h13(2)^2+h13(3)^2)) * (sqrt(t13(1)^2+t13(2)^2+t13(3)^2));
angulo3(i)=(acos(a3/b3)*180)/pi;

if(angulo3(i) > 170||angulo3(i)<1)
    angulo3(i)=angulo3(i-1);
    angulo3=(smooth(angulo3))';
else
    angulo3(i)=(acos(a3/b3)*180)/pi;
    angulo3=(smooth(angulo3))';
end

##### Angulo Flexión y Extensión del hombro #####

t14=xyz(21,:)-xyz(5,:);
t24=xyz(9,:)-xyz(21,:);
t34=cross(t14,t24); % producto cruz
h14=xyz(9,:)-xyz(10,:);

a4=(dot(t34,h14)); % producto punto entre los dos vectores
b4= (sqrt(h14(2)^2+h14(2)^2+h14(3)^2)) * (sqrt(t34(1)^2+t34(2)^2+t34(3)^2));
angulo4(i)=(acos(a4/b4)*180)/pi;

```

```

if(angulo4(i) > 170||angulo4(i)<1)
    angulo4(i)=angulo4(i-1);
    angulo4=(smooth(angulo4))';
else
    angulo4(i)=(acos(a4/b4)*180)/pi;
    angulo4=(smooth(angulo4))';
end

##### FIN DEL CALCULO DE ANGULOS
end
##### AGRUPANDO #####
muneca(cont1,:)= [angulo0];
codo(cont1,:)= [angulo1];
h_hor(cont1,:)= [angulo2];
h_lat(cont1,:)= [angulo3];
h_fle_ext(cont1,:)= [angulo4];

##### Momentos Estadisticos #####
y1=mean(muneca);
y2=mean(codo);
y3=mean(h_hor);
y4=mean(h_lat);
y5=mean(h_fle_ext);

d1=std(muneca);
d2=std(codo);
d3=std(h_hor);
d4=std(h_lat);
d5=std(h_fle_ext);

```

## Anexo 14 Código (obtención de ángulos) en matlab del lado izquierdo del miembro superior

```
%% LADO IZQUIERDO

angulo0=0;angulo1=0;angulo2=0;angulo3=0;angulo4=0;anguloo0=0;anguloo1=0;anguloo2=0;anguloo3=0;anguloo4=0;
a=0;a1=0;a2=0;a3=0;a4=0;
b=0;b1=0;b2=0;b3=0;b4=0;
cont1=0;

for p=1:10 % Son 10 personas
    for int=1:3 % 3 intentos

        filepath1=['Persona', ' ', num2str(p), '_Actividad 1_Intento', ' ', num2str(int), 'ManoIzquierda.mat'];
        load(filepath1)
        cont1=cont1+1;

    for i=1:40 % son 40 datos
        xyz=array(1,i).appended_array;
        x1(:,i)=xyz(:,1);
        y1(:,i)=xyz(:,2);
        z1(:,i)=xyz(:,3);

        %%%%%%%%%%% CALCULO DE ANGULOS %%%%%%%%%%%

        % %%%%% MUÑECA DERECHA %%%%%%%%%%%
        u1=xyz(7,:)-xyz(6,:);
        v11=xyz(8,:)-xyz(7,:);
        v1= v11-xyz(22,:);

        a1=(dot(u1,v1)); % producto punto entre los dos vectores
        b1= (sqrt(u1(2)^2+u1(2)^2+u1(3)^2)) * (sqrt(v1(1)^2+v1(2)^2+v1(3)^2));
        angulo0(i)=(acos(a1/b1)*180)/pi;

    if(angulo0(i) > 170|angulo0(i)<1)
        angulo0(i)=angulo0(i-1);
        anguloo0=(smooth(angulo0))';
    else
        angulo0(i)=(acos(a1/b1)*180)/pi;
        anguloo0=(smooth(angulo0))';
    end

    %%%% CODO IZQUIERDO %%%%%%%%%%%
    u=xyz(6,:)-xyz(5,:);
    v=xyz(7,:)-xyz(6,:);
    a=dot(u,v); % producto punto entre los dos vectores
    b= (sqrt(u(1)^2+u(2)^2+u(3)^2)) * (sqrt(v(1)^2+v(2)^2+v(3)^2));
    angulo1(i)=(acos(a/b)*180)/pi;
    anguloo1=(smooth(angulo1))';

    %%%%%%%%%%% Angulos HOMBRO %%%%%%%%%%%

    %%%% Angulo Abducción y Aducción horizontal del hombro %%%%%%%%%%%
    t1=xyz(21,:)-xyz(5,:);
    t3=xyz(3,:)-xyz(21,:);
    t2=cross(t1,t3); % producto cruz
    h1=xyz(5,:)-xyz(6,:);

    a1=dot(t2,h1); % producto punto entre los dos vectores
    b1= (sqrt(h1(2)^2+h1(2)^2+h1(3)^2)) * (sqrt(t2(1)^2+t2(2)^2+t2(3)^2));
    angulo2(i)=(acos(a1/b1)*180)/pi;

    if(angulo2(i) > 170|angulo2(i)<1)
        angulo2(i)=angulo2(i-1);
        anguloo2=(smooth(angulo2))';
    end
end
end
end
```



```

else
angulo2(i)=(acos(a1/b1)*180)/pi;
angulo2=(smooth(angulo2))';
end

%%%%%% Angulo Abducción y Aducción lateral del hombro %%%%%%%%%

t23=xyz(21, :)-xyz(9, :);
t33=xyz(3, :)-xyz(21, :);
t13=cross(t23,t33); % producto cruz
h13=xyz(5, :)-xyz(6, :);

a3=dot(t13,h13); % producto punto entre los dos vectores
b3= (sqrt(h13(2)^2+h13(2)^2+h13(3)^2))* (sqrt(t13(1)^2+t13(2)^2+t13(3)^2));
angulo3(i)=(acos(a3/b3)*180)/pi;

if(angulo3(i) > 170|angulo3(i)<1)
    angulo3(i)=angulo3(i-1);
    angulo3=(smooth(angulo3))';
else
angulo3(i)=(acos(a3/b3)*180)/pi;
angulo3=(smooth(angulo3))';
end

%%%%%% Angulo Flexión y Extensión del hombro %%%%%%%%%

t14=xyz(21, :)-xyz(5, :);
t24=xyz(9, :)-xyz(21, :);
t34=cross(t14,t24); % producto cruz
h14=xyz(5, :)-xyz(6, :);

a4=(dot(t34,h14)); % producto punto entre los dos vectores
b4= (sqrt(h14(2)^2+h14(2)^2+h14(3)^2))* (sqrt(t34(1)^2+t34(2)^2+t34(3)^2));
angulo4(i)=(acos(a4/b4)*180)/pi;

if(angulo4(i) > 170|angulo4(i)<1)
    angulo4(i)=angulo4(i-1);
    angulo4=(smooth(angulo4))';
else
    angulo4(i)=(acos(a4/b4)*180)/pi;
    angulo4=(smooth(angulo4))';
end
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% AGRUPANDO %%%%%%%%%
muneca(cont1, :)= [angulo0];
codo(cont1, :)= [angulo1];
h_hor(cont1, :)= [angulo2];
h_lat(cont1, :)= [angulo3];
h_file_ext(cont1, :)= [angulo4];

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Momentos Estadísticos %%%%%%%%%
y11=mean(muneca);
y22=mean(codo);
y33=mean(h_hor);
y44=mean(h_lat);
y55=mean(h_file_ext);

d11=std(muneca);
d22=std(codo);
d33=std(h_hor);
d44=std(h_lat);
d55=std(h_file_ext);

```

## Anexo 15. Código (momentos estadísticos) en matlab del miembro superior (izquierdo y derecho)

```
%%%%%%%%%% Momentos Estadísticos de las 2 señales izq-der
media1=( (y1+y11) ./2)';
media2=( (y2+y22) ./2)';
media3=( (y33+y33) ./2)';
media4=( (y4+y44) ./2)';
media5=( (y5+y55) ./2)';

desv1=( (d1+d11) ./2)';
desv2=( (d2+d22) ./2)';
desv3=( (d33+d33) ./2)';
desv4=( (d4+d44) ./2)';
desv5=( (d5+d55) ./2)';

end
end
```

## Anexo 16. Código (graficar los ángulos) en matlab

```
% %%%%%%%%%% GRAFICAR LAS SEÑALES %%%%%%%%%%
figure(1)
subplot 221
plot (y3,'r--')
hold on;
plot (y33,'b--')
title('abducción-aducción horizontal del hombro')
legend('Derecha','Izquierda')
xlabel('muestras')
ylabel('angulos')
subplot 222
plot (y4,'r--')
hold on;
plot (y44,'b--')
title('abducción-aducción lateral del hombro')
legend('Derecha','Izquierda')
xlabel('muestras')
ylabel('angulos')
subplot 223
plot (y5,'r--')
hold on;
plot (y55,'b--')
title('flexión y extensión del hombro')
legend('Derecha','Izquierda')
xlabel('muestras')
ylabel('angulos')

figure(2)
subplot 121
plot (y1,'r--')
hold on;
plot (y11,'b--')
title('MUNECA')
legend('Derecha','Izquierda')
xlabel('muestras')
ylabel('angulos')
subplot 122
plot (y2,'r--')
hold on;
plot (y22,'b--')
title('CODO')
legend('Derecha','Izquierda')
xlabel('muestras')
ylabel('angulos')
```



# ENCUESTAS

## Anexo 17. Encuesta No 1



### ENCUESTA

#### Protocolo de análisis de movimiento en miembro superior utilizando sistemas multimodales

Nombre: Laura Vanessa Forcibasso Edad: 33 a.  
Especialidad: Fisioterapeuta Entidad: Independiente

A continuación se presentaran algunas preguntas con el fin de llevar a cabo una investigación llamada "Protocolo de análisis de movimiento en miembro superior utilizando sistemas multimodales", propuesta por un estudiante de la Universidad Tecnológica de Pereira, con el fin de conocer el punto de vista de los profesionales encargados de trabajar con el miembro superior.

1. ¿Cuántos años lleva ejerciendo su profesión?

8 meses

2. ¿Conoce el instrumento de medida llamado Goniómetro?  SI  NO

• ¿Lo ha utilizado alguna vez?  SI  NO

3. Con base a su experiencia, ¿Dónde son las lesiones más comunes del miembro superior (codo, hombro, etc)?

En el Hombro

4. ¿Cómo analiza y diagnostica usted a sus pacientes, al momento de presentar una lesión en el miembro superior?

Con pruebas semiológicas, evaluación arcos de movilidad articular, fuerza muscular y escala del dolor.

5. ¿Cuáles enfermedades son las que comúnmente diagnostica del miembro superior?

Síndrome Manguito rotador, tendinitis bicipital, epicondilitis, túnel carpiano, y tendinitis de cuadrado.

6. ¿Conoce usted sistemas de visión que son capaces de ilustrar los puntos articulados del cuerpo humano?

SI  NO

• ¿Cuál sistema conoce? programa digital - análisis biomecánica -

7. Cuando el paciente ha finalizado su recuperación, ¿Cómo analiza usted la evolución de su paciente?

Con las mismas con las cuales se inicia el tratamiento (pruebas semiológicas, escalas del dolor, fuerza muscular)

Anexo 18. Encuesta No 2



ENCUESTA

Protocolo de análisis de movimiento en miembro superior utilizando sistemas multimodales

Nombre: Gilary Daniela Gil Jones Edad: 26  
Especialidad: Fisioterapia Entidad: \_\_\_\_\_

A continuación se presentaran algunas preguntas con el fin de llevar a cabo una investigación llamada "Protocolo de análisis de movimiento en miembro superior utilizando sistemas multimodales", propuesta por un estudiante de la Universidad Tecnológica de Pereira, con el fin de conocer el punto de vista de los profesionales encargados de trabajar con el miembro superior.

1. ¿Cuántos años lleva ejerciendo su profesión?

7 meses

2. ¿Conoce el instrumento de medida llamado Goniómetro?  SI  NO

• ¿Lo ha utilizado alguna vez?  SI  NO

3. Con base a su experiencia, ¿Dónde son las lesiones más comunes del miembro superior (codo, hombro, etc)?

Hombro

4. ¿Cómo analiza y diagnostica usted a sus pacientes, al momento de presentar una lesión en el miembro superior?

Por medio del dolor, y el arco de movilidad articular

5. ¿Cuáles enfermedades son las que comúnmente diagnostica del miembro superior?

Manguito rotador y Tendinitis bicipital, síndrome del túnel carpó

6. ¿Conoce usted sistemas de visión que son capaces de ilustrar los puntos articulados del cuerpo humano?

SI  NO

• ¿Cuál sistema conoce? \_\_\_\_\_

7. Cuando el paciente ha finalizado su recuperación, ¿Cómo analiza usted la evolución de su paciente?

Haciendo diferencia con los análisis del inicio y actividades funcionales

Anexo 19. Encuesta No 3



ENCUESTA

Protocolo de análisis de movimiento en miembro superior utilizando sistemas multimodales

Nombre: Leidy Tatiana Hernandez Edad: 23 años  
Especialidad: Fisioterapeuta Entidad: \_\_\_\_\_

A continuación se presentaran algunas preguntas con el fin de llevar a cabo una investigación llamada "Protocolo de análisis de movimiento en miembro superior utilizando sistemas multimodales", propuesta por un estudiante de la Universidad Tecnológica de Pereira, con el fin de conocer el punto de vista de los profesionales encargados de trabajar con el miembro superior.

1. ¿Cuántos años lleva ejerciendo su profesión?

10 meses

2. ¿Conoce el instrumento de medida llamado Goniómetro?  SI  NO

• ¿Lo ha utilizado alguna vez?  SI  NO

3. Con base a su experiencia, ¿Dónde son las lesiones más comunes del miembro superior (codo,hombro,etc)?

Hombro

4. ¿Cómo analiza y diagnostica usted a sus pacientes, al momento de presentar una lesión en el miembro superior?

Pruebas semiológicas de miembro superior y la escala analógica del dolor.

5. ¿Cuáles enfermedades son las que comúnmente diagnostica del miembro superior?

Pinzamiento subacromial, Tendinopatía bicipital

6. ¿Conoce usted sistemas de visión que son capaces de ilustrar los puntos articulados del cuerpo humano?

SI  NO

• ¿Cuál sistema conoce? \_\_\_\_\_

7. Cuando el paciente ha finalizado su recuperación, ¿Cómo analiza usted la evolución de su paciente?

Con las pruebas semiológicas que dieron positivo al inicio y la escala analógica del dolor



Anexo 20. Encuesta No 4



ENCUESTA

Protocolo de análisis de movimiento en miembro superior utilizando sistemas multimodales

Nombre: jesus Carlos Salarte Edad: 54  
Especialidad: Osteopedica - Traumatología Entidad: \_\_\_\_\_

A continuación se presentaran algunas preguntas con el fin de llevar a cabo una investigación llamada "Protocolo de análisis de movimiento en miembro superior utilizando sistemas multimodales", propuesta por un estudiante de la Universidad Tecnológica de Pereira, con el fin de conocer el punto de vista de los profesionales encargados de trabajar con el miembro superior.

1. ¿Cuántos años lleva ejerciendo su profesión?

13 años

2. ¿Conoce el instrumento de medida llamado Goniómetro?  SI  NO

• ¿Lo ha utilizado alguna vez?  SI  NO

3. Con base a su experiencia, ¿Dónde son las lesiones más comunes del miembro superior (codo, hombro, etc)?

En Radio, hombro, hueso del codo, 5º metacarpo

4. ¿Cómo analiza y diagnostica usted a sus pacientes, al momento de presentar una lesión en el miembro superior?

Principalmente por el examen físico y con ayuda de imágenes diagnósticas en especial rayos x

5. ¿Cuáles enfermedades son las que comúnmente diagnostica del miembro superior?

Traumas y fracturas

6. ¿Conoce usted sistemas de visión que son capaces de ilustrar los puntos articulados del cuerpo humano?

SI  NO

• ¿Cuál sistema conoce? rayos x, resonancias magnética y tomografía

7. Cuando el paciente ha finalizado su recuperación, ¿Cómo analiza usted la evolución de su paciente?

Recomendaciones post quirúrgicas, curaciones, Terapia física, controles con especialistas.

Anexo 21. Encuesta No 5



ENCUESTA

Protocolo de análisis de movimiento en miembro superior utilizando sistemas multimodales

Nombre: Carlos A. Trejos Arias. Edad: 31.  
Especialidad: Fisioterapia. Entidad: Dolor med.

A continuación se presentaran algunas preguntas con el fin de llevar a cabo una investigación llamada "Protocolo de análisis de movimiento en miembro superior utilizando sistemas multimodales", propuesta por un estudiante de la Universidad Tecnológica de Pereira, con el fin de conocer el punto de vista de los profesionales encargados de trabajar con el miembro superior.

1. ¿Cuántos años lleva ejerciendo su profesión?

Uno y medio.

2. ¿Conoce el instrumento de medida llamado Goniómetro?

SI  NO

• ¿Lo ha utilizado alguna vez?

SI  NO

3. Con base a su experiencia, ¿Dónde son las lesiones más comunes del miembro superior (codo, hombro, etc)?

Hombro → lesión en manguito rotador, luxaciones.  
Codo → Epicondilitis, Tendinopatias.

4. ¿Cómo analiza y diagnostica usted a sus pacientes, al momento de presentar una lesión en el miembro superior?

Se analiza la integridad en movimiento, limitación en el mismo y las manifestaciones clínicas presentes

5. ¿Cuáles enfermedades son las que comúnmente diagnostica del miembro superior?

Desgarro en músculo supraespinoso y manguito rotador.

6. ¿Conoce usted sistemas de visión que son capaces de ilustrar los puntos articulados del cuerpo humano?

SI  NO

• ¿Cuál sistema conoce? No conozco.

7. Cuando el paciente ha finalizado su recuperación, ¿Cómo analiza usted la evolución de su paciente?

funcion integrada en movimiento, modulación de dolor, adaptación en función específica.

Anexo 22. Encuesta No 6



ENCUESTA

Protocolo de análisis de movimiento en miembro superior utilizando sistemas multimodales

Nombre: LEONARDO BOLAÑOS R Edad: 55  
Especialidad: Traumatología Ortop Entidad: Clinica San Francisco

A continuación se presentaran algunas preguntas con el fin de llevar a cabo una investigación llamada "Protocolo de análisis de movimiento en miembro superior utilizando sistemas multimodales", propuesta por un estudiante de la Universidad Tecnológica de Pereira, con el fin de conocer el punto de vista de los profesionales encargados de trabajar con el miembro superior.

1. ¿Cuántos años lleva ejerciendo su profesión?

22 años

2. ¿Conoce el instrumento de medida llamado Goniómetro?  SI  NO

• ¿Lo ha utilizado alguna vez?  SI  NO

3. Con base a su experiencia, ¿Dónde son las lesiones más comunes del miembro superior (codo, hombro, etc)?

Hombro - muñeca - mano - codo

4. ¿Cómo analiza y diagnostica usted a sus pacientes, al momento de presentar una lesión en el miembro superior?

Físico con Historia Clínica -  
Imagenerología (RX RNM Eco) Electromiografía y Neuroconducción

5. ¿Cuáles enfermedades son las que comúnmente diagnostica del miembro superior?

S. Manguito Rotador - S. Tnel Carpo - Tendinopatías  
Epicondilitis

6. ¿Conoce usted sistemas de visión que son capaces de ilustrar los puntos articulados del cuerpo humano?

SI  NO

• ¿Cuál sistema conoce? Estudio de Marcha.

7. Cuando el paciente ha finalizado su recuperación, ¿Cómo analiza usted la evolución de su paciente?

Clínica - Radiológica - Concepto de  
Fisioterapia.



Anexo 23. Encuesta No 7



ENCUESTA

Protocolo de análisis de movimiento en miembro superior utilizando sistemas multimodales

Nombre: Jaime Andrés Salcedo Rodríguez Edad: 39  
Especialidad: Fisiatría Entidad: Clinica de Rehabilitación del Valle

A continuación se presentaran algunas preguntas con el fin de llevar a cabo una investigación llamada "Protocolo de análisis de movimiento en miembro superior utilizando sistemas multimodales", propuesta por un estudiante de la Universidad Tecnológica de Pereira, con el fin de conocer el punto de vista de los profesionales encargados de trabajar con el miembro superior.

1. ¿Cuántos años lleva ejerciendo su profesión?  
10 años

2. ¿Conoce el instrumento de medida llamado Goniómetro?  SI  NO

• ¿Lo ha utilizado alguna vez?  SI  NO

3. Con base a su experiencia, ¿Dónde son las lesiones más comunes del miembro superior (codo, hombro, etc)?  
Hombro

4. ¿Cómo analiza y diagnostica usted a sus pacientes, al momento de presentar una lesión en el miembro superior?

Se realiza un interrogatorio posteriormente se dirige la exploración física y se solicita por último estudio de imagen si requiere.

5. ¿Cuáles enfermedades son las que comúnmente diagnostica del miembro superior?

Síndrome de manguito rotador, Epicondilitis y túnel del carpo

6. ¿Conoce usted sistemas de visión que son capaces de ilustrar los puntos articulados del cuerpo humano?

SI  NO

• ¿Cuál sistema conoce? Laboratorios de Marcha

7. Cuando el paciente ha finalizado su recuperación, ¿Cómo analiza usted la evolución de su paciente?

Movilidad Articular, Fuerza Funcionalidad, Escalas de Funcionalidad.

Anexo 24. Encuesta No 8



ENCUESTA

Protocolo de análisis de movimiento en miembro superior utilizando sistemas multimodales

Nombre: Tulio A. Cava B Edad: 62 años  
Especialidad: Traccion - I / Sp. Entidad: \_\_\_\_\_

A continuación se presentaran algunas preguntas con el fin de llevar a cabo una investigación llamada "Protocolo de análisis de movimiento en miembro superior utilizando sistemas multimodales", propuesta por un estudiante de la Universidad Tecnológica de Pereira, con el fin de conocer el punto de vista de los profesionales encargados de trabajar con el miembro superior.

1. ¿Cuántos años lleva ejerciendo su profesión?

26 años

2. ¿Conoce el instrumento de medida llamado Goniómetro?  SI  NO

• ¿Lo ha utilizado alguna vez?  SI  NO

3. Con base a su experiencia, ¿Dónde son las lesiones más comunes del miembro superior (codo, hombro, etc)?

① muñeca ② (?) Hombro

4. ¿Cómo analiza y diagnostica usted a sus pacientes, al momento de presentar una lesión en el miembro superior?

① Examen clínico (valoración funcional)

② Radiografía ③ T.A.C o D.N.A según hallazgo

5. ¿Cuáles enfermedades son las que comúnmente diagnostica del miembro superior?

Lesión Tendón codo - Lesión nervio rotador - Tendinitis bicipital

6. ¿Conoce usted sistemas de visión que son capaces de ilustrar los puntos articulados del cuerpo humano?

SI  NO

• ¿Cuál sistema conoce? \_\_\_\_\_

7. Cuando el paciente ha finalizado su recuperación, ¿Cómo analiza usted la evolución de su paciente?

Examen clínico (funcionalidad)



Anexo 25. Encuesta No 9



ENCUESTA

Protocolo de análisis de movimiento en miembro superior utilizando sistemas multimodales

Nombre: JOSE DAVID PINTO Edad: 38 AÑOS  
Especialidad: ORTOPEDISTA - TRAUMATOLOGO Entidad: HOSPITAL TOMAS URIBE URIBE

A continuación se presentaran algunas preguntas con el fin de llevar a cabo una investigación llamada "Protocolo de análisis de movimiento en miembro superior utilizando sistemas multimodales", propuesta por un estudiante de la Universidad Tecnológica de Pereira, con el fin de conocer el punto de vista de los profesionales encargados de trabajar con el miembro superior.

1. ¿Cuántos años lleva ejerciendo su profesión?

5 AÑOS

2. ¿Conoce el instrumento de medida llamado Goniómetro?  SI  NO

• ¿Lo ha utilizado alguna vez?  SI  NO

3. Con base a su experiencia, ¿Dónde son las lesiones más comunes del miembro superior (codo, hombro, etc)?

1- HOMBRO 2- MUÑECA 3- CODO

4. ¿Cómo analiza y diagnostica usted a sus pacientes, al momento de presentar una lesión en el miembro superior?

SEMIOLOGIA e IMAGENOLOGIA

5. ¿Cuáles enfermedades son las que comúnmente diagnostica del miembro superior?

1- HERNIA ROTADORA 2- TUNEL DEL CARPO 3- EPICONDILITIS

6. ¿Conoce usted sistemas de visión que son capaces de ilustrar los puntos articulados del cuerpo humano?

SI  NO

• ¿Cuál sistema conoce? NO CONECEO

7. Cuando el paciente ha finalizado su recuperación, ¿Cómo analiza usted la evolución de su paciente?

FUNCIONALIDAD DE LA ARTICULACION

Anexo 26. Encuesta No 10



ENCUESTA

Protocolo de análisis de movimiento en miembro superior utilizando sistemas multimodales

Nombre: Hernando Guerrero Edad: 50  
Especialidad: Osteopeda y Traumatología Entidad: particular

A continuación se presentaran algunas preguntas con el fin de llevar a cabo una investigación llamada "Protocolo de análisis de movimiento en miembro superior utilizando sistemas multimodales", propuesta por un estudiante de la Universidad Tecnológica de Pereira, con el fin de conocer el punto de vista de los profesionales encargados de trabajar con el miembro superior.

1. ¿Cuántos años lleva ejerciendo su profesión?

15 años

2. ¿Conoce el instrumento de medida llamado Goniómetro?  SI  NO

• ¿Lo ha utilizado alguna vez?  SI  NO

3. Con base a su experiencia, ¿Dónde son las lesiones más comunes del miembro superior (codo, hombro, etc)?

Muñeca y Hombro

4. ¿Cómo analiza y diagnostica usted a sus pacientes, al momento de presentar una lesión en el miembro superior?

Examen físico (EF) Radiografía

5. ¿Cuáles enfermedades son las que comúnmente diagnostica del miembro superior?

Síndrome del túnel del Carpo y Manguito Rotador

6. ¿Conoce usted sistemas de visión que son capaces de ilustrar los puntos articulados del cuerpo humano?

SI  NO

• ¿Cuál sistema conoce? Estudio de Marcha

7. Cuando el paciente ha finalizado su recuperación, ¿Cómo analiza usted la evolución de su paciente?

Examen físico y funcionalidad