



Universidad  
de La Laguna

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y  
TECNOLOGÍA

**Trabajo Fin de Grado**

**Protocolo de trabajo y banco de pruebas para el  
uso del equipo de captura de movimiento  
MOCAP-OPTITRACK**

Titulación: Grado en Ingeniería Mecánica

Saúl Menéndez Mendoza

Jonathan Rodríguez Marante

*Tutor:* Dr. D. Jorge Martín Gutiérrez

San Cristóbal de La Laguna, Junio 2015

Tenerife

La información completa relacionada con este proyecto se encuentra disponible para su consulta y descarga, en la página web del mismo:

<http://atrae.webs.u11.es/capturadormovimiento/>

(Short URL) [t.u11.es/5ta](http://t.u11.es/5ta)



*A mis padres y a Oly, por hacer esto posible.*

*Jonathan.*

*Con mucho cariño a mis padres y a Celia  
por haberme apoyado todo este tiempo.*

*Saúl.*



## Abstract.

Motion Capture, or simply mocap, is the technology which helps in capturing and analyzing movements in a digital environment. This technology is based on the technique that determines the geometrical properties of the objects and living things from images. In the last few years mocap has been implemented massively in certain areas, but mostly in the movie industry, which has made it well known. However, these systems are also used in some of the most advanced medical R&D laboratories, focusing in biomechanics.

Biomechanics is an interdisciplinary area of knowledge that studies the models, phenomena and laws that are relevant in the movement and balance of living things. It is a scientific discipline that aims to study the mechanical structures existing in living organisms, primarily the human body. This area of knowledge leans in diverse biomedical sciences, using knowledge of mechanics, engineering, anatomy, physiology and other disciplines to study the behavior of the human body and solve the problems related to the various conditions that it can be subjected to. The data obtained from studying these movements can be implemented for various applications such as the development of robots.

In this project, we develop a protocol for the configuration and set up of the equipment available to the University of La Laguna for research purposes. In addition to this, a series of biomechanical movements are captured to establish a database, which will serve as a basis for the design of prostheses, vehicles, tools, etc. that can make life easier to other people. A test of an industrial application is also performed, to show the capability of the equipment for this kind of purposes.

The equipment used for this project consists in a set of six infrared OPTITRACK cameras, a custom-made suit with motion markers, and a computer running ARENA software.



## Índice:

Abstract.....	5
1. Introducción.....	11
2. Antecedentes.....	13
3. Justificación.....	14
4. Objetivos.....	15
5. Precursores.....	16
5.1. Orígenes de la captura de movimientos para la generación de GC.....	16
1980-1983: Simon Fraser University – Goniómetros.....	16
1982-1983: MIT – Marioneta Gráfica.....	17
1988: deGraf/Wahrman – Mike, la Cabeza Parlante.....	18
1988: Pacific Data Images – Waldo C. Graphic.....	18
1989: Kleiser-Walczak – Dozo.....	19
1991: Videosystem – Mat el Fantasma.....	19
1992: SimGraphics – Mario.....	20
1992: Brad deGraf – Alive!.....	21
1993: Acclaim.....	21
6. Métodos de captura de movimiento.....	22
6.1. Captura de movimientos electromecánica.....	22
6.2. Captura de movimientos electromagnética.....	24
6.3. Captura óptica de movimiento.....	25
6.3.1. Mediante indicadores pasivos.....	26
6.3.2. Mediante indicadores activos.....	27
6.3.3. Mediante indicadores activos modulados en el tiempo.....	28
6.3.4. Mediante indicadores semi-pasivos imperceptibles (Semi-passive Imperceptible Marker).....	29
6.3.5. Sin marcadores.....	29
6.4. Captura mediante fibra óptica.....	30
6.5. Captura mediante ultrasonidos.....	32
6.6. Captura mediante sistemas inerciales.....	32
6.7. Seguimiento de ojos.....	33



6.8. Captura de movimiento en los videojuegos.....	33
6.8.1. Nintendo, Wii Remote.....	34
6.8.2. Sony, PlayStation Move.....	37
6.8.3. Microsoft, Kinect.....	39
6.9. Sistemas de captura de movimiento con Kinect.....	41
6.10. Captura de movimiento con una Web Cam, FaceShift.....	42
7. Aplicaciones actuales.....	44
7.1. Controlar humanoides con la captura de movimiento.....	44
7.2. Aplicación al deporte.....	45
7.2.1. Criquet.....	45
7.2.2. Voleibol.....	46
7.3. Aplicaciones ergonómicas.....	47
7.4. Seguimiento de ojos.....	48
7.5. Animación en el cine.....	49
7.6. Aplicaciones en los videojuegos.....	50
7.7. Aplicación militar.....	51
8. Configuración del sistema de captura de movimientos y puesta en uso equipo de la ULL.....	53
8.1. Cámaras.....	53
8.2. Calibración.....	55
8.3. Marcadores.....	61
8.3.1. Pies.....	63
8.3.2. Piernas.....	63
8.3.3. Cintura.....	65
8.3.4. Espalda.....	66
8.3.5. Brazos.....	66
8.3.6. Manos.....	69
8.3.7. Cabeza.....	69
8.4. Skeleton.....	70
8.5. Cuerpos rígidos.....	73
9. Banco de pruebas.....	77
9.1. Generales.....	77

9.2. Movimientos especiales.....	77
9.3. Adquisición de los datos.....	77
9.4. Listado de pruebas y datos.....	78
9.4.1. Bateo.....	78
9.4.2. Saludo.....	78
9.4.3. Negación.....	79
9.4.4. Afirmación.....	79
9.4.5. Caminar pausado.....	79
9.4.6. Caminar con sigilo.....	79
9.4.7. Caminar en círculos.....	79
9.4.8. Caminar y volver.....	80
9.4.9. Salto.....	80
9.4.10. Boxeo.....	80
9.4.11. Correr.....	80
9.4.12. Correr y girar 90° a la derecha.....	80
9.4.13. Correr y girar 90° a la izquierda.....	80
9.4.14. Correr y parar en seco.....	81
9.4.15. Correr y saltar.....	81
9.4.16. Movimientos de árbitro.....	81
10. Procesado de los datos.....	82
10.1. Procesado de datos.....	84
10.1.1. Procesado mediante hoja Excel.....	84
10.1.2. Procesado mediante Arena.....	85
11. Aplicación Industrial: Calibración.....	87
12. Futuras aplicaciones.....	89
12.1. Videojuegos (Realidad Virtual).....	90
12.2. Biomecánica (Deportes).....	90
12.3. Control Industrial.....	91
12.4. Bajo el agua.....	92
12.5. Sobre el agua.....	92
12.6. Aerodinámica.....	93
12.7. Medicina.....	94

12.8. Inteligencia humana e interrogatorios. ....	94
12.9. Construcción. ....	95
12.10. Sonido y movimiento. ....	95

## 1. Introducción.

La captura de movimientos, también conocida por su equivalente inglés Motion Capture o su abreviatura mocap (MC), es el proceso de disección para el análisis y estudio de cualquier movimiento, generalmente humano. La disección consiste en la reproducción estática de diferentes instantes del movimiento, representando los pasos que se llevan a cabo en este. Como concepto no es nada nuevo, ya que, por ejemplo, el estudio del cuerpo humano como máquina (biomecánica), y por tanto con movimiento, se inició en la antigua Grecia.

Sin embargo, en los últimos tiempos el término se ha especializado, refiriéndose actualmente a toda tecnología de captura y almacenamiento digital del movimiento humano o de objetos.

Por tanto, el término no se reduce a una tecnología para generar identidades realistas en películas de animación o videojuegos, sino que sus posibilidades abarcan un espectro más amplio que comentaremos en el siguiente punto.

Como nota, aclarar que hay un término, performance capture, que se refiere a la captura aplicada a los movimientos de los dedos y a los gestos faciales. Se usa para especificar que se capturan interpretaciones (no solo como movimiento, sino como actuación) enfocadas a la renderización de personajes para películas y videojuegos. Se puede considerar como un subtipo de la captura de movimientos.

La aplicación de tecnologías "Motion Capture" consisten en la captura de movimientos para fines prácticos, su objetivo principal es prever, actualizar y profundizar en resolución o análisis de problemas por medio de simulaciones en 3D.

Los sistemas de Captura de movimiento se basan en que el movimiento de un objeto siempre es relativo a un punto de referencia y que para medir dicho movimiento se requiere de un sensor que detecte la señal de una fuente, ya sea que el primero este acoplado al objeto móvil y el segundo a un punto de referencia, o viceversa.

Esto puede ser particularmente útil para realizar diagnósticos en medicina, análisis de prototipos de máquinas, diseño ergonómico de productos, etc... Actualmente, muchas áreas de la medicina necesitan un análisis motriz de los pacientes. Pues, actualmente se están desarrollando tecnologías que buscan, por

ejemplo, mejores prótesis; órganos artificiales; recuperar las capacidades motrices de gente discapacitada y todo ello se puede analizar con un herramientas mocap.

El trabajo a desarrollar en un mocap debe abordarse desde una perspectiva interdisciplinaria, en este caso nos centramos en las áreas de Biomecánica, Ingeniería, Sistemas Computacionales y Animación Digital.

Lo consideramos interdisciplinario porque para realizar estos estudios se requiere el diseño de un espacio con características muy precisas y específicas; se requiere de un software sólido y creativo y sobre todo un entendimiento del cuerpo humano para interrelacionar los datos obtenidos, es decir, saber qué y dónde buscar.

Es necesario resalta que el uso de mocap tiene importantes aplicaciones en áreas, como la medicina, ingeniería mecánica, entretenimiento, el deporte y los videojuegos.

En este trabajo, expondremos un estado del arte de la tecnología y equipos. Proporcionaremos un manual de uso y calibración del equipo disponible en la ULL, se creará una base de datos de movimientos capturados tanto para un humanoide como para máquinas en este último caso desarrollando un protocolo de calibración de movimiento para finalmente disponer todo el material en una web en abierto.

## 2. Antecedentes.

Desde que la Universidad de La Laguna adquiriese en el año 2010 un equipo de captura de movimiento, este nunca ha sido utilizado para labores de investigación o explotación comercial, a diferencia de otras universidades en las cuales es utilizado como servicio de soporte para grupos de investigación enfocados en distintas áreas como es el caso de medicina, deportes, etc. Cabe destacar que sólo existe en Canarias otro sistema similar, y se utiliza en la industria cinematográfica. Concretamente fue utilizado para la realización de la película "Hiroku, Defensores de Gaia".

Por todo ello, para la Universidad de La Laguna resulta fundamental que se comience a utilizar el equipo en titulaciones de grado como Ingeniería Mecánica, Ingeniería Informática, Medicina, etc.

Como estudiantes de Grado en Ingeniería Mecánica, seremos los primeros en hacer un uso extensivo del sistema de captura de movimiento para la realización de nuestro Trabajo de Fin de Grado, abarcando este desde la configuración y puesta a punto del sistema hasta la aplicación de la tecnología para realizar pruebas de cara a un posible uso industrial.

### 3. Justificación.

Como estudiantes de ingeniería mecánica, es de esperar que través del Trabajo fin de Carrera (TFG) podamos demostrar y poner en práctica competencias y capacidades adquiridas a lo largo de los años de estudios cursados. En la Universidad de la Laguna se nos ha ofrecido realizar como TFG, la oportunidad de conocer la tecnología asociada a equipos de Captura de movimiento (Motion Capture-MC). Esta tecnología es una de las más punteras hoy en día por la multitud de ámbitos en la que se puede aplicar: industria del entretenimiento, aeroespacial, robótica, automotriz, medicina, deporte y militar entre otras muchas.

Dada la posibilidad de disponer de un equipo de captura de movimiento para realizar este trabajo, hemos considerado de interés realizar un estudio del equipo, de la tecnología y de los posibles usos de aplicación al ámbito de la ingeniería mecánica, no limitándonos a estudiar los aspectos más relevantes de ella, sino también trabajando en primera instancia con el equipo de Motion Capture, realizando la puesta a punto del mismo y elaborando una base de datos de movimientos que posteriormente se alojará en la que será la web oficial del Mocap de la ULL, y que estará disponible en abierto para el público.

## 4. Objetivos.

La finalidad de este TFG es la de profundizar en la tecnología conocida como Motion Capture (MC), Captura de Movimiento en español, para ello como objetivo general que se nos plantea es la de aprender las posibilidades de la tecnología MC y los equipos de Captura de Movimiento en general aplicándolos a la ingeniería mecánica, y en particular las posibilidades que ofrece el equipo disponible en la Universidad de La Laguna para este ámbito.

Los objetivos específicos propuestos para el trabajo serán:

- Crear un documento recopilatorio sobre el estado del arte de esta tecnología y equipos.
- Establecer un manual para la preparación de la captura del movimiento de un humanoide.
- Desarrollar una guía para la toma de datos con el software Arena.
- Establecer un protocolo de calibración del movimiento de máquinas.
- Explicar de forma clara el proceso de recopilación de datos e interpretación de los mismos.
- Extrapolar lo aprendido a ámbitos de la biomecánica y la robótica.
- Crear un espacio web con objeto de dar visibilidad al sistema de captura de movimiento de la ULL
- Crear una base de movimientos capturados y que puedan estar disponibles y en abierto en la web que se desarrolle en este proyecto.



## 5. Precursores.

Como ya se ha comentado en la definición, el concepto de captura de movimiento no es una tecnología novedosa.

Ya en la antigua Grecia, Aristóteles escribió *De Motu Animalium* (Sobre el movimiento de los animales), en la cual comparó los cuerpos de los animales con sistemas mecánicos realizando un análisis del movimiento.

Casi dos mil años después, Leonardo da Vinci describió algunos mecanismos que utiliza el cuerpo humano a la hora de moverse: cómo nos mantenemos de pie, cómo saltamos, cómo nos levantamos tras estar sentados, cómo caminamos en pendientes... Cien años después, Galileo trató de analizar la fisiología humana desde un punto de vista matemático. Con la ayuda del trabajo de Galileo, Borelli calculó las fuerzas necesarias para mantener el equilibrio en varias articulaciones del cuerpo, determinó el centro de gravedad del ser humano, calculó los volúmenes de aire que inspiraba y expiraba el ser humano y demostró que la respiración era debida a la elasticidad de los tejidos. Estos trabajos del campo de la biomecánica fueron seguidos por Newton, Bernoulli, Euler, Poiseuille, Young y otros científicos reconocidos.

Es interesante mencionar en estas líneas a Muybridge, que fue el primer fotógrafo en representar el movimiento humano y animal, a través de múltiples cámaras para captar instantes seguidos en el tiempo. Más tarde, con la aparición de la técnica del rotoscopio, se comenzaría a utilizar la captura de movimientos en personas para agilizar el diseño de dibujos animados (Walt Disney la utilizó en Blancanieves y los siete enanitos). En los años 70, con la aparición de ordenadores y su potencial uso en el cine, empieza la captura de movimientos para la generación de Graphic Computer (GC), como veremos a continuación.

### 5.1. Orígenes de la captura de movimientos para la generación de GC.

#### 1980-1983: Simon Fraser University – Goniómetros.

A finales de los años 70, cuando comienza a ser factible la animación de personajes por ordenador, los diseñadores

comenzaron a usar las técnicas clásicas de diseño (como el rotoscopio). El rotoscopio era una técnica en la cual se utilizaban frames reales que se utilizaban como base para diseñar algo por encima, similar a calcar un folio por encima de otro que contiene lo que queremos copiar. En esta misma época, comienzan a utilizarse los ordenadores para analizar el movimiento humano en estudios de biomecánica. Las técnicas y dispositivos utilizados para esto empezaron a adoptarse en la comunidad de investigadores de GC. Al principio de los años 80, Tom Calvert, un profesor de kinesiólogía y ciencias de la computación en la Simon Fraser University, adhirió potenciómetros a un cuerpo y usó la salida para generar personajes animados por ordenador con objeto de ser usado en estudios de coreografía y asistencia clínica para pacientes con problemas de locomoción. Por ejemplo, para analizar la flexión de rodilla, creó una especie de exoesqueleto para cada pierna, cada uno de los cuales tenía adherido un potenciómetro y con ello se podía analizar el grado de flexión. La señal analógica era digitalizada e introducida en un programa que hacía una simulación mediante una animación en el ordenador.

#### **1982-1983: MIT – Marioneta Gráfica.**

Poco después, comienzan a salir los primeros sistemas de seguimiento visual como el Op-Eye y el SelSpot. A principios de los 80, algunos de los centros más prestigiosos como el Massachusetts Institute of Technology (MIT) realizaron experimentaron con dispositivos de seguimiento visual aplicados en el cuerpo humano.

Estos sistemas de MC normalmente usan pequeños marcadores adheridos al cuerpo (tanto LEDs parpadeantes como pequeños puntos reflectantes) y una serie de cámaras alrededor del espacio de maniobras. Una combinación de hardware especial y software distinguen los marcadores en el campo visual de cada cámara, y mediante comparación, calculan la posición tridimensional de cada marcador en cada instante.

La tecnología está limitada por la velocidad a la que los marcadores pueden ser rastreados (esto afecta al número de posiciones por segundo que pueden ser capturadas), por la oclusión de los marcadores por el cuerpo y por la resolución de las cámaras (específicamente por su capacidad para diferenciar distintos marcadores próximos). Los primeros sistemas podían rastrear sólo una docena de marcadores al mismo tiempo. Los sistemas más recientes pueden distinguir varias docenas. Los problemas de oclusión se pueden superar con el uso de más

cámaras, pero incluso con eso, los sistemas ópticos más modernos suelen requerir un post-procesamiento manual para recuperar trayectorias cuando un marcador se pierde de vista. Esto cambiará según los sistemas se vuelvan más sofisticados. El problema de la resolución está relacionado con varias variables, como el precio de la cámara, el campo de visión, y el espacio de movimientos. A mayor resolución requerida, mayor el precio de la cámara. La misma cámara puede dar una mejor resolución de movimiento si está enfocando un menor campo de visión, pero esto limita la capacidad de los movimientos a realizar. Por ello, casi todos los resultados de los sistemas de captura ópticos necesitan una post-producción para analizar, procesar y limpiar la información antes de ser utilizados.

#### 1988: deGraf/Wahrman – Mike, la Cabeza Parlante.

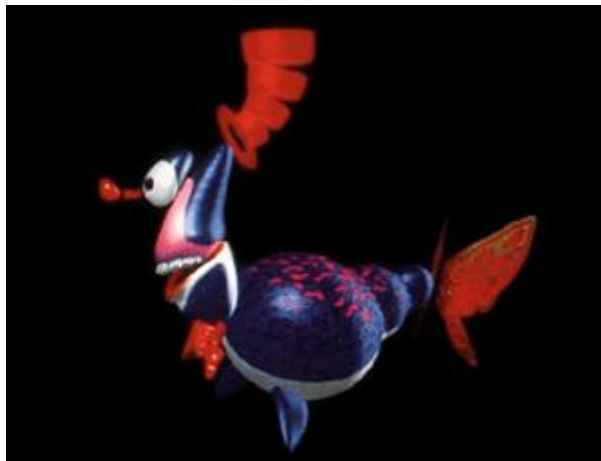


1. Mike talking head  
(<http://goo.gl/1SY5T6>)

En 1988, deGraf y Wahrman desarrollaron *Mike the Talking Head* para Silicon Graphics que permitía mostrar las capacidades en tiempo real de sus nuevas máquinas 4D. *Mike* estaba dirigido por un controlador diseñado para manejar varios parámetros de la cara del personaje (boca, ojos, expresión y posición de la cabeza). El hardware de Silicon Graphics proporcionaba una interpolación en tiempo real de las expresiones faciales y geometría de la cabeza del personaje del usuario. *Mike* fue mostrado en público en la conferencia de SIGGRAPH, donde además se demostró que la tecnología mocap ya estaba preparada para su explotación comercial.

#### 1988: Pacific Data Images – Waldo C. Graphic.

En 1985, la productora *Jim Henson Productions* intentó crear versiones virtuales de sus personajes. Consiguieron un éxito limitado, principalmente debido a las capacidades limitadas de la tecnología en ese momento. Finalmente, en 1988, con los equipos 4D de Silicon



2. Waldo C.Graphic (<http://goo.gl/ywruZ6>)

Graphics Institute (SGI), y con la pericia de la productora *Pacific Data Images*, encontraron una solución viable, conectando un dispositivo de entrada de ocho grados de libertad confeccionado a medida a través del cuadrante estándar SGI y fueron capaces de controlar la posición y los movimientos de la boca de un personaje a baja resolución en tiempo real. De esta forma surge la conocida marioneta virtual *Waldo C. Graphic*, que capturaba el movimiento de las manos de un titiritero con un dispositivo denominado *Waldo*, y después se interpretaban en un ordenador.

#### *Waldo C. Graphics y el equipo de captura.*

La productora *Pacific Data Images*, desarrolló un exoesqueleto plástico para la parte superior del cuerpo humano con objeto de capturar los movimientos del pecho, cabeza y brazos, de manera que los actores podían controlar los personajes virtuales mimetizando sus movimientos. Los movimientos corporales se adquirirían a través de potenciómetros en la capa de plástico. El traje fue utilizado en numerosos proyectos, aunque no estaba concebido como el dispositivo de rastreo perfecto ya que "el ruido" de circuitos y el diseño inadecuado del traje desvirtúa los resultados finales.

#### **1989: Kleiser-Walczak – Dozo.**

En 1989, Kleiser-Walczak creó *Dozo*, una animación computacional en tiempo-no-real de una mujer bailando delante de un micrófono mientras cantaba para un videoclip. Para conseguir un movimiento humano realista, se utilizaron técnicas de mocap. Basado en experimentos del mocap de Kleiser<sup>1</sup> en *Digital Productions y Omnibus* (ambas desaparecidas), eligen una solución óptica que usa varias cámaras para triangular pequeños trozos de cinta reflectante distribuidos en el cuerpo. La salida resultante es la trayectoria 3D de cada reflector en el espacio. Este proyecto tuvo problemas con la oclusión de los marcadores, lo cual requirió un post-procesamiento a mano bastante largo.

#### **1991: Videosystem – Mat el Fantasma.**

Conocidas las posibilidades de personajes animados gracias a técnicas de captura de movimientos y actuación en *Waldo C. Graphic, Videosystem*, una productora francesa de video y gráficos por ordenador, atrajo la atención sobre su división de

---

<sup>1</sup> Kleiser-Walczak Construction: 1989 "Don't Touch Me"

animación por ordenador encargada del campo de las "marionetas virtuales". Su primer éxito fue la creación de *Mat le Fantôme*. *Mat* era un fantasma verde que interactuaba con actores y marionetas reales en un programa diario infantil llamado *Canaille Peluche*. Usando *DataGloves*, joysticks, rastreadores *Polhemus*, y pedales de percusión MIDI, los titiriteros interactivamente dotaban de movimiento a *Mat*, incrustándolo en el video previamente grabado de los actores reales. Dado que no había post-renderizado, las secuencias de animación eran generadas en el momento en el que los intérpretes conseguían una buena toma.

Videosystem, ahora conocido como *MediaLab*<sup>2</sup>, ha continuado el desarrollo del sistema de interpretación hasta el punto de ser una herramienta de producción fiable, habiendo producida con ella varias horas de animación en total, con más de una docena de personajes.

Típicamente, cada personaje es controlado por varios titiriteros trabajando coordinadamente. Dos titiriteros controlaban las expresiones faciales, el play-back y los efectos especiales como las transformaciones en la forma de *Mat*, o burbujas desde la boca de un pez, y el actor mimetiza los movimientos de la parte superior del cuerpo, mientras lleva puesto un traje con rastreadores electromagnéticos (*Polhemus*) en el torso, brazos y cabeza. Los movimientos de los dedos, del joystick, etc..., de los titiriteros también son capturados y transformados en expresiones faciales y efectos del personaje, mientras el movimiento del actor es directamente mapeado al cuerpo del personaje.

#### **1992: SimGraphics – Mario.**

*SimGraphics* ha estado durante mucho tiempo en el mercado de la Realidad Virtual, habiendo construido sistemas alrededor de algunos de los primeros *VPL DataGloves* en 1987. Alrededor de 1992 desarrollaron un sistema de rastreo facial llamado *face waldo*. Usando sensores mecánicos adheridos a la barbilla, labios, mejillas y cejas, y sensores electromagnéticos en la estructura del casco, consiguieron capturar la mayor parte de los movimientos de la cara y mapearlos para aplicarlos a un modelo virtual en tiempo real. La importancia de este sistema fue que un actor podía manipular todas las expresiones faciales de unos personajes sólo mimetizando lo que quería que hiciese, lo cual supone una interfaz completamente natural.

---

<sup>2</sup> <http://histoire3d.siggraph.org/index.php?title=Medialab>

Uno de los mayores éxitos con este proyecto fue la interpretación en tiempo real de Mario Bros. Dirigido por un actor detrás del escenario usando el face waldo, Mario lograba conversar con los miembros de la audiencia, respondiendo a sus preguntas y comentarios. A partir de ahí, SimGraphics se ha concentrado en la animación en directo, desarrollando personajes para conferencias, televisión y otros entretenimientos en directo. Durante los últimos años, SimGraphics continúa trabajando en el face waldo, mejorando la fiabilidad y el confort.

#### **1992: Brad deGraf – Alive!**

Después del *Mike the Talking Head*, desarrollado por deGraf and Wahrman's, Brad deGraf continuó trabajando en solitario, desarrollando un sistema de animación en tiempo real, ahora conocido como *Alive!* Para un personaje de *Alive!*, deGraf desarrolló un dispositivo especial para mano con cinco émbolos que representaban los dedos de un titiritero. El dispositivo era usado para controlar las expresiones faciales de una nave espacial virtual, la cual, como Mario, era utilizada por una compañía para sus conferencias.

DeGraf comienza a trabajar en la productora *Colossal Pictures*, donde usó *Alive!* para animar a "Moxy", un perro generado por ordenador que tenía una serie para Cartoon Network. Moxy es interpretado en tiempo real para publicidad, pero post-renderizado para la serie. Los movimientos del actor eran capturados a través de un sistema de captura electromagnética con sensores en las manos, pies, torso y cabeza.

#### **1993: Acclaim.**

En el congreso SIGGRAPH 93, Acclaim presentó una animación realista y compleja de dos personajes realizada completamente con mocap. Durante los años anteriores Acclaim había desarrollado un sistema de rastreo óptico de alta definición, superior a los anteriormente citados y capaz de seguir hasta 100 marcadores simultáneamente en tiempo real. Acclaim utilizó el sistema que desarrolló principalmente para generar secuencias de movimiento de personajes para videojuegos.

## 6. Métodos de captura de movimiento.

En la actualidad son numerosos los sistemas de captura de movimientos, y las tecnologías relacionadas con el mocap, las cuales consisten en el análisis y grabación de los datos de un movimiento. En las sesiones de captura lo que se analiza son las posiciones, las fuerzas, las velocidades y los impulsos de los movimientos del actor, tomando como referencia variables sacadas en un tiempo determinado (por ejemplo, tomando datos cada 2 ms). Para la captura hay diferentes equipos basados en tecnologías diferentes, las más conocidas son las ópticas de marcado, que se reconocen por usar deflectores en puntos estratégicos del cuerpo y las inerciales, como el mando Wiimote de las videoconsolas Wii que constituye un ejemplo muy básico de mocap de este tipo.

A continuación se describen brevemente las distintas tecnologías utilizadas para la captura de movimientos.

### 6.1. Captura de movimientos electromecánica.

Los sistemas de captura de movimiento electromecánicos son aquellos sistemas en los que de forma general se realiza la captura de movimiento utilizando sensores mecánicos.

En el proceso de captura de movimientos, el actor o intérprete viste unos trajes especiales, adaptables al cuerpo humano. Los trajes son generalmente estructuras rígidas compuestas de barras metálicas o plásticas unidas mediante potenciómetros colocados en las principales articulaciones. El actor coloca la estructura en su cuerpo y mientras se mueve el traje se adapta a sus movimientos, y los potenciómetros recogen datos sobre el grado de apertura de las articulaciones.

Los potenciómetros constan de un elemento deslizante acoplado a una resistencia, que produce una variación de tensión que puede medirse para conocer el grado de apertura de la articulación a la que está acoplado, si bien los potenciómetros usados en captura de movimiento son mucho más complejos que los usados tradicionalmente en la industria electrónica. A veces, a estos sensores se les denomina sensores angulares digitales o analógicos. Los sensores angulares pueden enviar la información mediante cables, pero lo más frecuente es que lo hagan mediante radiofrecuencia.





**3. Actriz vistiendo un traje electromecánico, en diferentes posiciones. (<http://goo.gl/1qu2QD>).**

Los sistemas de captura de movimiento electromecánicos tienen el problema, con respecto a otros sistemas de captura de movimientos, de ser incapaces de medir translaciones globales: son capaces de medir las posiciones relativas de los miembros, pero no el desplazamiento del actor en el escenario. Por este motivo, a veces se añade un sensor electromagnético al conjunto, aunque esto implica que podamos tener los problemas típicos de los sistemas electromagnéticos, como la interferencia producida por metales, cables, etc.

Además, estos sistemas asumen que la mayoría de los huesos humanos están unidos por articulaciones "bisagra", donde el único valor a medir es el grado de apertura, por lo que no tienen en cuenta rotaciones complejas que se producen frecuentemente en las articulaciones humanas, como los movimientos de hombros o los giros de los antebrazos. Los trajes electromecánicos no permiten variar la posición de los sensores, son pesados y suelen restringir el movimiento del actor. También tienen el problema de su limitado tiempo de vida. Sin embargo, con respecto a otros sistemas mocap, tienen la ventaja de proporcionar, a un coste relativamente bajo, capacidad para registrar en tiempo real el movimiento de los actores, a una frecuencia alta, tener un alcance casi ilimitado y eliminar los problemas de oclusión típicos de los sistemas electromagnéticos.

Un sistema electromecánico completo tiene un precio comprendido entre 25000 y 75000 dólares (al margen el precio del sistema de posicionamiento global, en caso de utilizarse). También existen otras soluciones para movimientos que requieran mayor precisión como guantes, que se centran en capturar los movimientos de las



articulaciones de la mano, pero los electromecánicos son muy pesados y por eso no se utilizan mucho.

## 6.2. Captura de movimientos electromagnética.

En los sistemas de captura de movimiento electromagnéticos se dispone de una colección de sensores electromagnéticos que miden la relación espacial con un transmisor cercano. Los sensores se colocan en el cuerpo y se conectan a una unidad electrónica central, casi siempre mediante cables. Están constituidos por tres espiras ortogonales que miden el flujo magnético, determinando tanto la posición como la orientación del sensor.

Un transmisor genera un campo electromagnético de baja frecuencia que los receptores detectan y transmiten a la unidad electrónica de control, donde se filtra y amplifica. Después se envía a un ordenador central, donde se infiere la posición de todos los sensores en el espacio así como su orientación.



4. Sensor electromagnético (<http://goo.gl/9GYkIY>)

Un sistema magnético típico consta de un transmisor, hasta 18 sensores, una unidad de control electrónica y un software propietario para el procesamiento. Un rastreador magnético de última generación puede tener hasta 90 sensores y es capaz de capturar hasta 144 muestras por segundo, si bien este valor puede depender del número de sensores. El coste de estos sistemas varía de 5000 a 15000 dólares, lo cual supone un importante ahorro con respecto a los sistemas ópticos.

Si se desea aprovechar la capacidad de los rastreadores magnéticos de trabajar en tiempo real se debe conectar el sistema a un sistema computador con capacidad para renderizar un gran número de polígonos en tiempo real. Si el proyecto lo

requiere, el coste del computador puede superar el coste del rastreador magnético.

El proceso de captura completo no es en tiempo real, pero se le aproxima bastante, dependiendo mucho de la cantidad de ampliación, filtrado y procesado de datos que se realice, así como del tiempo de respuesta de la conexión entre la unidad de control y el ordenador. La latencia de un rastreador magnético es el tiempo que transcurre entre la recogida de datos y la observación del resultado. Este valor puede variar desde varios milisegundos a unos pocos segundos. Dado que todos los datos que se recolectan están en relación con la posición del emisor, es más fácil procesar los datos que en otros sistemas mocap.

Existen dos tipos de rastreadores electromagnéticos: los que usan pulsos magnéticos cuadrados (como Flock of Birds de Ascension Technology Corporation) y los que usan campos magnéticos sinusoidales (como el Patriot de Polhemus). Cada uno de ellos tiene problemas de interferencias con distintos materiales metálicos debido a su conductividad, que hace que se creen corrientes eléctricas en los metales que generan campos magnéticos que interfieren con el campo magnético del transmisor. Por este motivo, la captura de movimiento magnética es difícil de transportar a diferentes escenarios. Además, el número de capturas por segundo es generalmente demasiado bajo para registrar objetos a altas velocidades, y la precisión es del orden de 10 veces menor que con sistemas ópticos.

### **6.3. Captura óptica de movimiento.**

Los sistemas ópticos utilizan los datos recogidos por sensores de imagen para inferir la posición de un elemento en el espacio, utilizando una o más cámaras sincronizadas para proporcionar proyecciones simultáneas. Lo habitual es que los datos se recojan utilizando indicadores (markers) pegados al actor, pero los sistemas más recientes permiten recoger datos fiables rastreando superficies del sujeto identificadas dinámicamente. Estos sistemas producen datos con 3 grados de libertad para cada indicador; la orientación de una superficie se infiere utilizando la posición relativa de al menos 3 indicadores.

Los sistemas ópticos de captura de movimiento son, en general, métodos muy fiables para capturar determinados movimientos cuando se utilizan sistemas de última generación. Además, permiten la grabación en tiempo real, con ciertas limitaciones

como el número de indicadores, el número de actores y de cámaras.

Los sistemas ópticos más habituales se basan en un único ordenador que recibe la entrada de varias cámaras digitales CCD (charge-coupled device). Las CCD crean una representación digital de la imagen con una resolución que puede variar de 128x128 hasta 4096x4096 o más. Cuanto mayor sea la resolución mejor será la captura, pero hay otros factores a considerar; por ejemplo, actualmente una cámara de 4096x4096 sería capaz de capturar muy pocos fotogramas por segundo. El número de cámaras se comprende habitualmente entre 4 y 32. Aunque sería suficiente con dos cámaras para obtener la posición de cualquier indicador, son necesarias más cámaras para mantener siempre un rayo visual entre al menos dos cámaras y cualquier indicador. Sin embargo, añadir cámaras innecesariamente sólo complica el procesamiento de la información.

Las cámaras tienen una velocidad de captura de entre 30 y 1000 fotogramas por segundo, con lo cual permiten rodar objetos a velocidades más altas que otros sistemas de captura.



#### 5. Cámaras de captura de movimiento marca OptiTrack (<http://goo.gl/TjCrMZ>)

En los sistemas ópticos, se debe calibrar las cámaras mediante el rastreo de un objeto conocido que el software reconozca, de forma que se calcule la posición de cada cámara con respecto a un punto conocido. Si la cámara se mueve mínimamente, se deberá recalibrar.

#### 6.3.1. Mediante indicadores pasivos.

Los indicadores pasivos están recubiertos de un material reflectante y se adhieren al traje del actor en puntos estratégicos. La luz que reflejan se origina cerca de las cámaras, y es recogida por éstas. Las cámaras pueden configurarse con un umbral de luz, de tal forma que sólo recojan

la luz reflejada por los indicadores, no la luz reflejada por la superficie del sujeto.

Suponiendo que al menos 2 cámaras registren un marcador, se puede inferir la posición del marcador en el espacio. En este caso, el número de cámaras oscila entre 4 y 32. También hay sistemas de más de 300 cámaras para tratar de solucionar uno de los problemas de los indicadores pasivos: dado que todos los indicadores tienen el mismo aspecto, se produce lo que se denomina intercambio de indicadores (marker swap): el sistema puede confundir unos indicadores con otros. Además, pueden necesitarse más cámaras para cubrir totalmente todas las superficies del sujeto o para grabar a varios actores, como se dijo antes.

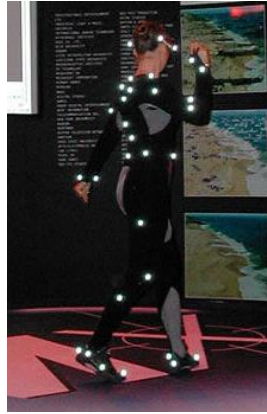


#### **6. Marcador pasivo Optitrak (<http://goo.gl/Z58SGo>)**

Los sistemas ópticos mediante indicadores pasivos no necesitan que el actor se coloque dispositivos electrónicos en el cuerpo, sino un gran número de bolas de goma cubiertas de material reflectante. Este tipo de sistemas pueden capturar un gran número de marcadores a frecuencias del orden de hasta 2000 fotogramas/segundo, si bien hay que compensar la velocidad de captura con la resolución. Existen sistemas de 4 megapíxeles a 360 hercios por 100000 dólares, y sistemas de 0,3 megapíxeles a 120 hercios por 50000 dólares.

#### **6.3.2. Mediante indicadores activos.**

En este sistema de captura, los indicadores emiten su propia luz (Leds), con lo cual se consigue aumentar la distancia a la que se puede desplazar el sujeto.



### 7. Traje con indicadores activos (<http://goo.gl/mGS4aC>)

La posición de los indicadores se determina iluminando un indicador en cada instante de tiempo a una frecuencia muy alta (lo cual perjudicaría la frecuencia de muestreo), o bien varios indicadores de cada vez, con procesamiento adicional para calcular la identidad de cada indicador a partir de su posición relativa. Para ello, los indicadores han de estar sincronizados con todas las cámaras para iluminarse en una sola captura.

#### 6.3.3. Mediante indicadores activos modulados en el tiempo.

Se trata de una mejora con respecto a los indicadores activos, en la cual los marcadores no se iluminan uno de cada vez, sino que se iluminan muchos a la vez mediante luz estroboscópica, determinándose la identidad de cada indicador mediante la frecuencia de destello. De esta forma se consiguen frecuencias de captura mayores que con los sistemas activos estándar, con el inconveniente de aumentar la carga computacional, si bien esto en la actualidad no supone un problema.

Los sistemas con indicadores activos modulados en el tiempo permiten aplicar los movimientos del actor sobre el personaje animado, permitiendo observar el resultado en tiempo real. Al existir un único identificador para cada indicador, se elimina el problema del intercambio de indicadores. Además, este sistema permite rodar al aire libre bajo la luz directa del sol.

El procesamiento de los identificadores modulados se realiza en tiempo real en las cámaras, lo que permite tanto altas frecuencias de captura como mayor precisión a la hora de determinar la posición exacta del indicador, utilizando un algoritmo para aumentar la precisión de la información capturada.

Algunos sistemas de captura de movimiento formados por ocho cámaras de 12 megapíxeles son capaces de capturar hasta 480 fotogramas por segundo a precios inferiores a 50000 dólares.

Nota: Otras fuentes hablan de sistemas con indicadores activos modulados mediante la amplitud o la frecuencia de la luz recibida, sin hacer referencia a la luz estroboscópica.

#### **6.3.4. Mediante indicadores semi-pasivos imperceptibles (Semi-passive Imperceptible Marker).**

A diferencia de los sistemas anteriores, en el caso de los indicadores semipasivos son los propios indicadores los que detectan su propia posición y orientación.

Los sistemas ópticos semipasivos utilizan cañones emisores de múltiples LEDs para codificar el espacio mediante la emisión de luz. Los indicadores son etiquetas fotosensibles que determinan no sólo su posición, sino también su orientación e incidencia de la iluminación, y se pueden colocar disimuladamente (por eso se les llama imperceptibles) en la ropa o en otros objetos.

Este sistema permite la captura bajo la luz natural y un número ilimitado de etiquetas indicadoras. Dado que no se utilizan, como en otros sistemas ópticos, cámaras de alta frecuencia, se reduce considerablemente el tráfico de datos generado. Cada indicador procesa su posición y ésta no tiene que calcularse a partir de imágenes. Estos sistemas son ideales para la captura de movimientos en tiempo real.

#### **6.3.5. Sin marcadores.**

Son sistemas en los que el seguimiento de los movimientos de los actores no requiere que éstos vistan equipos especiales, si bien en algunos sistemas se utilizan trajes especiales que facilitan la identificación de superficies. Utilizan algoritmos que analizan distintas fuentes de entrada de imágenes identificando formas humanas y descomponiéndolas en trozos para realizar el seguimiento de sus movimientos. Estos sistemas funcionan bien con movimientos generales pero suelen tener dificultades con movimientos específicos, como los de los dedos o la cara. Existen prototipos de sistemas de este estilo en la Universidad de Stanford, en el Instituto Tecnológico de Massachusetts

(Massachusetts Institute of Technology, MIT) y en la Sociedad Max Plank. También existen sistemas comerciales, llamados sistemas basados en video, consistentes en obtener datos de movimiento haciendo un seguimiento de ciertos patrones en una secuencia de imágenes.

#### 6.4. Captura mediante fibra óptica.

Los primeros sistemas de este estilo son los guantes de fibra óptica, pero en la actualidad se intenta aplicar esta técnica a la captura de movimientos del cuerpo entero. Los guantes de fibra óptica están constituidos por un conjunto de fibras ópticas que, al doblarse, atenúan la luz transmitida, permitiendo calcular la posición de los dedos de la mano. El primer ejemplo de sistema de este tipo es el Dataglove.



#### 8. 5DT Data Glove 5 Ultra (<http://goo.gl/KqUTas>)

Los 5DT Data Glove 5 Ultra son diseñados para el cumplimiento de estrictos requerimientos de los modernos mocap y animación profesional. Ofrecen un gran confort, un uso sencillo, con una gran aplicación SDK para el desarrollo de aplicaciones. La alta calidad, el bajo cruce de relaciones y la alta captura de datos la hace ideal para la animación realista en tiempo real.

Los 5DT Data Glove 5 Ultra miden la flexión de los dedos (un sensor por dedo) de la mano del usuario.

El sistema de interface del ordenador vía cable USB. Un puerto serial A (RS 232 con plataforma independiente) es una opción válida para trabajar con 5DT Data Glove 5 Ultra con un kit de interface. Esta proporciona una calidad de 10 bit de resolución en la flexión, extremadamente cómodo, poca desviación y una arquitectura abierta. Los 5DT Data Glove 5 Ultra con un kit de interface Wireless con el ordenador vía tecnología Bluetooth (distancia superior a 20 metros de alcance) con una conexión de alta velocidad para una autonomía superior a ocho horas con una sola batería. Están disponibles modelos tanto para la mano derecha como para la mano izquierda. Solo disponible una sola talla (licra elástica)

Características:

- Tecnología de sensores avanzada.
- Amplia gama de aplicaciones de apoyo.
- Calidad asequible.
- Confort extremo.
- Talla única.
- Calibración automática con un mínimo de 10-bit de resolución.
- Plataforma independiente, con puerto USB e interface (RS 232).
- Plataforma cruzada SDK (Windows, Linux and Mac).
- Alto rango de subida de datos.
- Procesado On-board.
- Poco cruce de datos entre dedos.
- Versión Wireless disponible.

Para captura de movimientos del cuerpo, se fijan sobre distintas partes del cuerpo sensores flexibles de fibra óptica que miden las rotaciones de las articulaciones. Al igual que los sistemas electromecánicos, no se mide la posición del actor en el escenario. El sistema se puede complementar con sistemas electromagnéticos para medir la posición de la cabeza y el torso, como en el caso del Shapewrap II de Measurand.



9. Shapewrap II (<http://goo.gl/odjfAI>)



## 6.5. Captura mediante ultrasonidos.

En general, en los sistemas de captura de movimientos mediante ultrasonidos se utilizan emisores que generan pulsos ultrasónicos (imperceptibles por los seres humanos) que son capturados por uno o varios receptores situados en posiciones conocidas, permitiendo averiguar la posición del emisor en el espacio, e incluso su orientación en algunos casos.

Los emisores utilizados son todavía demasiado voluminosos y los sistemas actuales no son capaces de trabajar con movimientos bruscos. Estos sistemas se suelen combinar con sistemas inerciales. Sin embargo, el uso de sistemas ultrasónicos permite obtener un importante ahorro con respecto a otros sistemas de captura de movimientos, ya que en algunos prototipos, el precio actual es inferior a 3000 dólares.

## 6.6. Captura mediante sistemas inerciales.

Los sistemas inerciales utilizan unos pequeños sensores (normalmente acelerómetros y giroscopios) que recogen información sobre la aceleración y la velocidad angular del sensor. Conociendo la posición y la velocidad angular inicial e integrando las informaciones que recogen los sensores, es posible determinar la posición, eje de giro y velocidad angular de cualquier sensor. Los datos recogidos por los sensores inerciales (inertial guidance system) se transmiten a un ordenador, donde se puede observar sobre una figura animada el movimiento completo registrado. En los sistemas inerciales puros puede producirse el problema de la deriva de integración (integration drift: los errores numéricos se acumulan sobre la velocidad u orientación del sensor), por lo cual es común combinar esta técnica con otros métodos de captura.

Este tipo de sistemas de captura de movimiento no utiliza mecanismos externos como cámaras; y como en el caso de los sistemas ópticos, cuantos más sensores se utilicen, más real es el movimiento reproducido. Son fáciles de transportar y tienen grandes rangos de captura, es decir alta precisión.

Uno de los sistemas más conocidos de este tipo son los mandos inalámbricos de la Wii de Nintendo (Wiimote o Wii remote), si bien para captura de movimiento se emplean otros sensores mucho más precisos y con mayor frecuencia de captura, generalmente

acoplados a unos trajes especiales con varios sensores y en donde se ubica también una unidad transmisora.

Existen trajes de prestaciones muy variadas cuyos precios básicos varían entre 25000 y 80000 dólares.

### 6.7. Seguimiento de ojos.

La combinación de seguimiento de los ojos con seguimiento cabezal óptico da líneas exactas de la vista, mientras que el usuario es capaz de moverse libremente dentro del área de seguimiento. Varias interfaces permiten el uso de cámaras con sistemas de seguimiento ocular. La empresa SMI (Senso Motoric Instruments) ha desarrollado unas gafas que permiten el seguimiento de los ojos y combinado con la cámara sabe en qué punto estas deteniendo la mirada. Actualmente este sistemas tiene un coste unos 9900 Euros.



10 . Gafas captura ocular ([www.eyetracking-glasses.com](http://www.eyetracking-glasses.com))

### 6.8. Captura de movimiento en los videojuegos.

En la actualidad la captura de datos se ha implementado en el ámbito de los videojuegos, de forma que permite una novedosa jugabilidad en entornos virtuales, creando una mejor inmersión en el juego. Las principales empresas que tienen estos sistemas son Sony (PlayStation Move), Microsoft (Kinect) y Nintendo.

### 6.8.1. Nintendo, Wii Remote.

Wii es una videoconsola producida por Nintendo y que apareció a finales de 2006 en Norteamérica y el 8 de diciembre del mismo año en Europa. Pertenece a la séptima generación de consolas y es la sucesora directa de Nintendo GameCube y compitió con Xbox 360 de Microsoft y PlayStation 3 de Sony. Desde Nintendo se afirmó que Wii está destinada a una audiencia más amplia a diferencia de las otras dos consolas mencionadas previamente. Desde su aparición, la consola superó a sus competidoras en cuanto a ventas y, en diciembre de 2009, rompió el récord como la consola más vendida en un solo mes en Estados Unidos.

La característica más distintiva de la consola es su mando inalámbrico, el Wii Remote, que puede usarse como un dispositivo de mano con el que se puede apuntar y señalar, además de poder detectar movimientos en un plano tridimensional.

Desde su lanzamiento, recibió premios por la innovación de su controlador y la tecnología que incorpora en el sistema de juego.

#### *Wii Remote.*

El Wii Remote tiene la capacidad de detectar la aceleración a lo largo de tres ejes mediante la utilización de un acelerómetro ADXL330. El Wiimote también cuenta con un sensor óptico PixArt, lo que le permite determinar el lugar al que el Wiimote está apuntando; además de agregar una brújula electrónica en el WiiMotionPlus.

A diferencia de un mando que detecta la luz de una pantalla de televisión, el Wiimote detecta la luz de la Barra sensor de la consola, lo que permite el uso coherente, independientemente del tipo o tamaño de la televisión. Esta barra mide aproximadamente 20 cm de longitud y cuenta con diez LED infrarrojos, con cinco LED dispuestos en cada extremo de la barra. En cada grupo de cinco LED, el LED más lejano fuera del centro apunta ligeramente lejos del centro, el LED más cercano al centro apunta ligeramente hacia el centro, mientras que los tres LED entre ellos están apuntando directamente hacia adelante y agrupados. La barra puede ser colocada por encima o por debajo de la televisión, y debe centrarse. Si está colocada por encima, el sensor debe estar alineado con la parte delantera de la televisión, y si coloca en la parte inferior, debe alinearse con

la parte delantera de la superficie de la televisión en la que se coloca. No es necesario señalar directamente a la barra sensor, pero apuntar significativamente fuera de la barra de posición perturbará la capacidad de detección debido al limitado ángulo de visión del Wiimote.



11. Barra sensor de la consola (<http://goo.gl/OUqEfU>)

El uso de la barra de sensores permite al Wiimote ser utilizado como un dispositivo de señalamiento preciso de hasta 5 metros de distancia de la barra. El sensor de imagen del Wiimote se utiliza para localizar los puntos de luz de la barra con respecto al campo de visión del Wiimote. La luz emitida desde cada extremo de la barra de sensores se centra en el sensor de imagen que ve la luz brillante como dos puntos separados por una distancia de "mi" en el sensor de imagen. La segunda distancia "m" entre los dos grupos de emisores de luz de la barra sensor es una distancia fija. A partir de estas dos distancias y mi m, el procesador de la consola Wii calcula la distancia entre el Wiimote y la barra de sensores utilizando la triangulación. Además, la rotación del Wiimote con respecto al suelo también puede ser calculada a partir del ángulo relativo de los dos puntos de luz en el sensor de imagen. Los juegos pueden ser programados para detectar si el sensor de imagen está o no cubierto.



12. Wiimote (<http://goo.gl/0QEj7W>)

La barra de sensores es necesaria cuando el Wiimote está controlando movimientos arriba-abajo o izquierda-derecha de un cursor en la pantalla del televisor para apuntar a las opciones de menú u objetos como los enemigos en un juego. Debido a que la barra de sensores también permite calcular la distancia entre el Wiimote y la sensibilidad de la Barra, el Wiimote también puede controlar el movimiento lento adelante-atrás hacia un objeto en un juego en 3 dimensiones. El movimiento rápido hacia delante o hacia atrás, como los puñetazos en un juego de boxeo, está controlado por los sensores de aceleración. Usando estos sensores de aceleración (que actúan como sensores de inclinación), el Wiimote también puede controlar la rotación de un cursor u otros objetos.

El uso de un sensor infrarrojo para detectar posición puede causar algunos problemas cuando otras fuentes de infrarrojos se encuentran alrededor, como bombillas incandescentes o velas. Esto puede ser fácilmente mitigado por el uso de luces fluorescentes alrededor de la Wii, ya que emiten poca o ninguna luz infrarroja. Usuarios innovadores han utilizado otras fuentes de luz IR como sustitutos de la barra de sensores, como un par de linternas y un par de velas. Tales sustitutos de la barra de sensores ilustran el hecho de que un par de luces estáticas proporcionan una calibración continua de la dirección que el Wiimote está apuntando y su ubicación física en relación con las fuentes luminosas. No hay manera de calibrar la posición del cursor en relación con la que el usuario está señalando con el controlador sin las dos fuentes estables de referencia de la luz proporcionada por la barra de sensores o sustitutos.

Los Leds pueden verse a través de algunas cámaras y otros dispositivos con un mayor espectro visible que el ojo humano.

La posición y seguimiento del movimiento del Wii Remote permite al jugador imitar las acciones reales de juego, como mover una espada o una pistola con objetivo, en lugar de simplemente pulsando los botones.

### 6.8.2. Sony, PlayStation Move.



13. PlayStation Move (<http://goo.gl/chEvS9>)

PlayStation Move es un sistema de control de videojuegos compatible con los sistemas de PS3 y PS4, el sistema está basado en la tecnología de sensor de movimiento. Este dispositivo fue desarrollado después de ver los buenos resultados obtenidos por la competencia y salió al mercado en el 2010. Actualmente es el sistema menos potente y con la menor estabilidad de captura de movimientos.

Al igual que en el resto de controladores inalámbricos para PlayStation, tanto el mando principal de PlayStation Move como el Navigation Controller usan la conexión inalámbrica Bluetooth 2.0 y una batería de ion de litio, que se carga mediante un puerto USB Mini-B.1 Se pueden usar hasta 4 controladores de PlayStation Move al mismo tiempo, pueden ser cuatro mandos principales o dos mandos principales y dos secundarios. Los tres componentes de PlayStation Move son:

#### *Motion controller.*

Es el mando principal de PlayStation Move. Tiene forma alargada y una esfera que se ilumina en diferentes colores, evitando tener el color de la habitación en que se juega. Básicamente consiste en una captura de movimientos con marcadores activos. Este sistema está combinado con un giroscopio para detectar los giros, ya que sin realizar una triangulación ningún sistema de captura con marcadores puede determinar que se ha producido un giro.

El principal problema de este método de captura de pantalla es la luz y los colores de fondo. El sistema se vuelve inútil teniendo una luz de fondo, perdiendo por completo la posición de los marcadores. Por otro lado tiene una gran precisión detectando giros en mando.



14 . Motion controller (<http://goo.gl/UxDXp7>)

### *PlayStation Eye.*

Es el dispositivo mediante el cual se reconocen los controles del PlayStation Move, es una cámara la cual detecta el color del control y lee los movimientos de éste, los cuales luego son representados en el juego. Esta cámara posee dos posiciones de lente, una permite utilizarla como una cámara web normal y la otra opción es la que activa la captura de movimientos. También posee un micrófono en su parte superior y en todo momento este dispositivo tiene que estar conectado mediante un puerto USB.



15. PlayStation Eye (<http://goo.gl/Jllg8w>)

### 6.8.3. Microsoft, Kinect.

Kinect para Xbox 360, inicialmente conocido por el nombre en clave Project Natal es un periférico para videojuegos que prescinde de mandos gracias a un sensor de detección de movimientos, creado por Microsoft y está previsto que sea utilizable en ordenadores con el sistema operativo Windows 8. Está basado en una cámara periférica que se conecta a la videoconsola Xbox 360 reconociendo los gestos del jugador, su rostro, voz, así como sus movimientos y los objetos estáticos dentro un campo visual. Kinect fue lanzado en USA a finales de 2010.



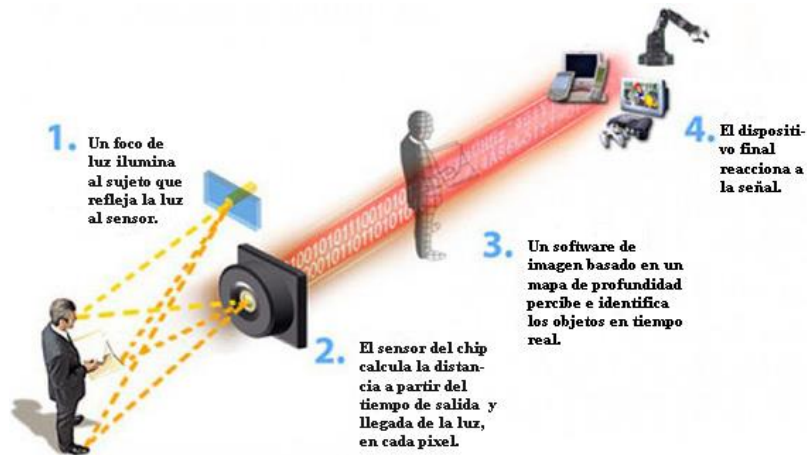
16. Kinect (<http://goo.gl/GjptwC>)

El sensor de Kinect es una barra horizontal conectado a un pivote, diseñado para estar en una posición longitudinal. El dispositivo tiene una cámara RGB, sensor de profundidad y un micrófono multi-array bidireccional que conjuntamente capturan el movimiento de los cuerpos en 3D, además de ofrecer reconocimiento facial y aceptar comandos de voz. La nueva cámara denominada Kinect 2 permite a unos 30cm capturar movimiento,



esto puede utilizarse para la captura facial además de por ejemplo de los movimientos de las manos.

El sensor de Kinect reproduce video a una frecuencia de 30 Hz, en colores RGB 32-bit y resolución VGA de 640×480 pixeles, el canal de video monocromo es de 16-bit, resolución QVGA de 320×240 pixeles con hasta 65,536 niveles de sensibilidad. El límite del rango visual del sensor de Kinect está entre 1.2 y 3.5 metros de distancia, con un ángulo de vista de 57° horizontalmente y un ángulo de 43° verticalmente, mientras que el pivote puede orientarse hacia arriba o abajo ampliando hasta 27°. El array del micrófono tiene cuatro cápsulas, y opera con cada canal procesando 16-bit de audio con un ratio de frecuencia de 16 kHz.



#### 17. Funcionamiento Kinect (<http://goo.gl/vHeUpG>)

El prototipo de Kinect con cámara y micrófono, creado por la empresa PrimeSense, costó \$30,000, mientras cada unidad se comercializa un precio aproximado de \$150. La cámara de Kinect funciona con hardware y software de serie para el reconocimiento de imagen. La cámara tiene dos funcionalidades principales, genera un mapa en 3D de la imagen que tiene en su campo visual y reconoce humanos en movimiento entre los objetos de la imagen a partir de diferentes segmentos de las articulaciones del cuerpo y un esquema en escala de grises del rostro.

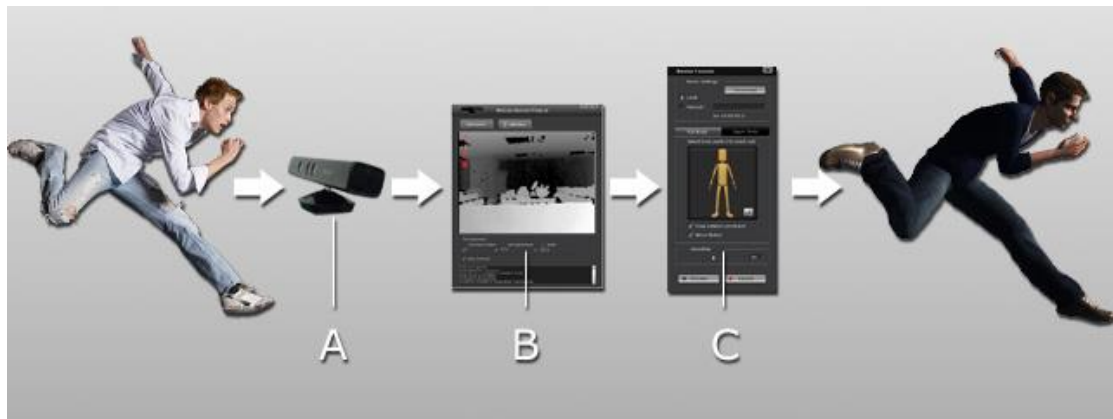
Antiguos programas de software utilizaban las diferencias en color y textura para distinguir los objetos del fondo. PrimeSense, la compañía que desarrolló Kinect, y la compañía recientemente adquirida por Microsoft, Canesta, utilizan un modelo diferente. La cámara transmite luz invisible, cercana en el espectro a los infrarrojos y puede conocer el tiempo que tarda la luz en volver al sensor tras reflejarse en los objetos.

El sensor actúa como un sonar, la operación no es teóricamente complicada, si se conoce el tiempo de cada salida y llegada de la luz tras reflejarse en un objeto, sabiendo la velocidad absoluta de la luz, se puede tener la distancia a la cual se encuentra ese objeto. En un amplio campo visual con objetos, la cámara Kinect trata de reconocer a qué distancia están los objetos, distinguiendo el movimiento en tiempo real. Kinect puede llegar a distinguir la profundidad de cada objeto con diferencias de 1 centímetro y su altura y anchura con diferencias de 3 milímetros. El hardware de Kinect está compuesto por la cámara y el proyector de luz infrarroja, añadido al firmware y a un procesador que utiliza algoritmos para procesar las imágenes tridimensionales.

El procesador es capaz de interpretar los movimientos que se registran en los objetos capturados por la cámara de Kinect en eventos con significado que aparecen en pantalla. Los movimientos buscados por el algoritmo son contextualizados, si nos encontramos en un juego como Kinect Adventures, donde una balsa desciende por la corriente del río, si este juego requiere movimientos como agacharse o tumbarse, entonces se buscará la identificación de estos movimientos en tiempo real para producir eventos en pantalla. Si el usuario navega por el menú con interfaz gráfica como Netflix entonces se buscarán movimientos con la mano horizontal y vertical que serán registrados en los fenómenos de pantalla.

## **6.9. Sistemas de captura de movimiento con Kinect.**

En la actualidad el sistema de Kinect permite la captura de movimientos para una posterior animación en entornos virtuales. Esto se consigue con softwares comerciales, como *iClone*, que permite al usuario poder hacer una captura de movimientos de un cuerpo para la posterior animación de un actor en un entorno virtual. Este software posee un plugin que permite usar la cámara del sistema Kinect, conectada a un ordenador, con el fin de capturar los movimientos. El sistema crea un skeleton parecido al de otros sistemas de captura de movimiento de precios muy superiores.



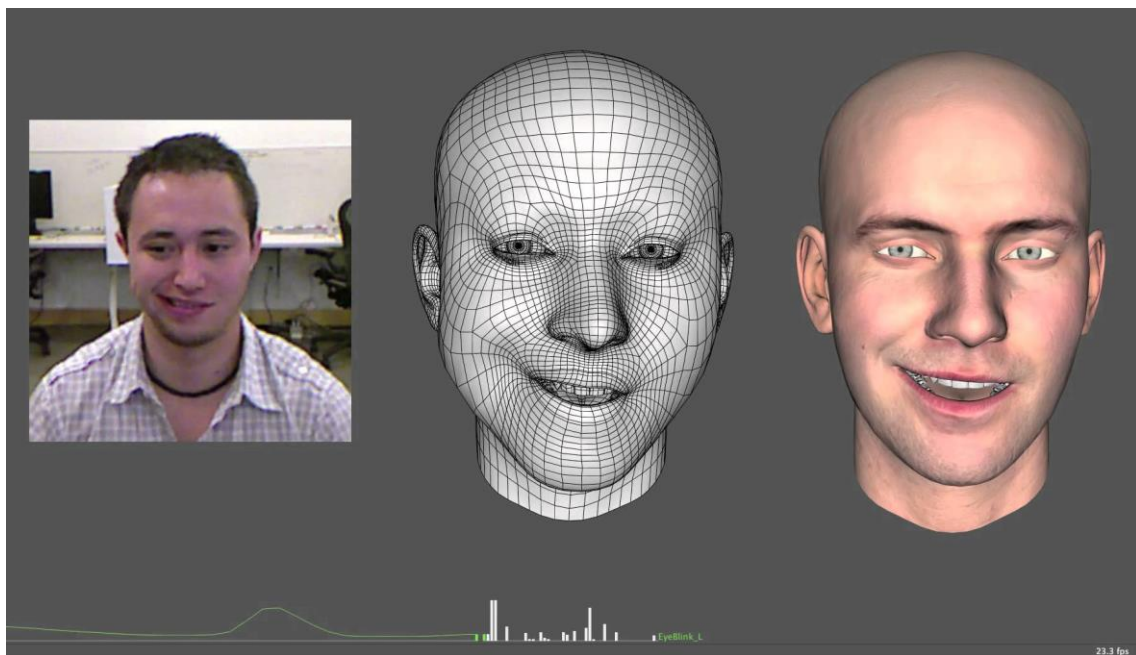
18 . iClone pluing mocap Kinect (<https://goo.gl/j4LD9F>)

También es posible desarrollar aplicaciones informáticas para la detección de movimiento y reconocimiento de patrones con Kinect.

#### 6.10. Captura de movimiento con una Web Cam, FaceShift.

El sistema de FaceShift permite la captura de los gestos de la cara para crear una animación a tiempo real de una cabeza virtual, en este caso un personaje de videojuego. El programa inicialmente necesita obtener datos biométricos de la cara, de forma que solicita realizar la medición de 20 poses faciales del actor en los que se muestre: serio, sonriendo, levantando una ceja, etc. En cada una de estas poses el programa obtiene datos, creando a su vez una malla del rostro, lo que permite discretizar a posteriori que gestos realizados. Una vez todos estos datos son procesados el programa puede realizar un seguimiento facial a través de la malla de triángulos calculada y es posible asociar dicha malla a un modelo 3D de forma que se anima una cabeza digital que imita en todo momento los gestos del actor.

Esto realmente es una forma muy simple de capturar movimientos pero proporciona muy buenos resultados. Como todos los sistemas de captura de movimiento con grabación de video si se alteran las condiciones ambientales de iluminación se generan problemas en el funcionamiento. A nivel de investigación este sistema tiene su aplicación médica en entrenamientos y seguimiento de recuperación en pacientes con parálisis facial.



19 . Faces Shift (<https://goo.gl/EUFDCP>)

## **7. Aplicaciones actuales.**

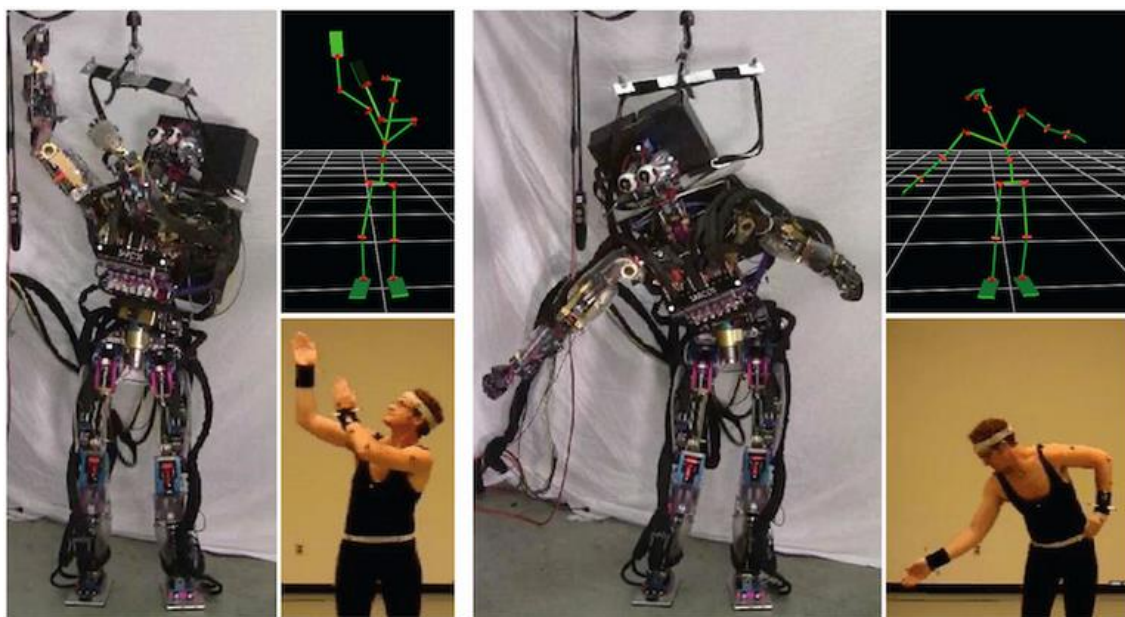
Son numerosas las aplicaciones actuales de la tecnología de captura de movimiento en distintas disciplinas.

Empresas de diferentes ámbitos han implementado sistemas de captura de movimiento para: industria de animación, cine, videojuegos, militar, medicina, deporte entre otros.

### **7.1. Controlar humanoides con la captura de movimiento.**

La captura de movimiento es una buena fuente de datos para la programación de robots humanoides, ya que contiene los estilos naturales y las sinergias de los comportamientos humanos. Sin embargo, es difícil de utilizar directamente los datos de movimiento capturados debido a la cinemática y la dinámica de robots humanoides difieren significativamente de las de los humanos.

Los movimientos pueden ser asignados a la robótica, de hecho, Disney ha desarrollado un controlador que permite a un robot mantener el equilibrio, y el seguimiento de un movimiento. Dispone de dos controladores uno de equilibrio y otro de seguimiento, el proceso de trabajo está optimizado para obtener los pares de movimiento de forma conjunta realizándose simultáneamente el equilibrio y el seguimiento.



20. Robot humanoide (<http://goo.gl/1zCu34>)

## 7.2. Aplicación al deporte.

En el mundo deportivo tiene una amplia aplicación en la mejora de los entrenamientos y rendimientos de los deportistas, pudiéndose analizar de forma más precisa sus movimientos para permitiendo mejorarlos y optimizarlos.

### 7.2.1. Críquet.

El caso de críquet cuando un jugador lanza una bola al bateador, la principal regla que debe cumplirse es indicar que ha de soltar la bola justo cuando su brazo ha pasado la línea de su hombro. De no hacerlo así, el lanzamiento se parecería más al de béisbol, lanzando la bola en lugar de soltándola, y eso no está permitido. Algunos jugadores han sido suspendidos por sanciones en por mala praxis en los lanzamientos.

Algunos jugadores se han sometido a los análisis de sus formas lanzar con objeto de corregirse y mejorar las técnicas de lanzamiento.





#### 21. Lanzador de criquet (<http://goo.gl/a7mb1s>)

La comprobación de que un jugador lanza como dicta el reglamento tras una sospecha se realiza en uno de los cuatro centros que el Internacional Cricket Council (ICC) tiene en Australia, India, Inglaterra y Gales.

En esos centros se colocan marcadores en los puntos críticos como son hombro, muñeca y codo, de manera que el reflejo que realizan al proyectarles luz, ayuda a las cámaras detectoras de movimiento, radares y sensores de infrarrojos a trazar el recorrido del brazo en tres dimensiones. Con esas imágenes y recreaciones, los jueces ya pueden tomar una decisión sobre si el movimiento es correcto o no.

#### 7.2.2. Voleibol.

Este sistema ha sido utilizado para el análisis del gesto técnico deportivo en el remate de Voleibol. En este estudio se obtuvieron medidas comparativas entre jugadoras cadete y

jugadoras de Superliga de Voleibol y fue de gran utilidad para los entrenadores de jugadoras cadete a la hora de individualizar el entrenamiento y corregir posturas lesivas para mejorar sus deficiencias.

### 7.3. Aplicaciones ergonómicas.

El instituto Mapfre ha desarrollado un sistema portátil para la captura y análisis tridimensional del movimiento humano en puestos de trabajo basado en sensores inerciales de movimiento y simulación 3D con modelos biomecánicas.

El desarrollo del sistema HADA Move-Human Sensors es resultado de una estrecha colaboración entre el grupo de investigación en Ergonomía Idergo del instituto I3A de la Universidad de Zaragoza y el instituto de ergonomía Mapfre.



#### 22. HADA Move-Human

HADA Move-Human es un sistema portátil que está compuesto por un conjunto de sensores de movimiento que se colocan al trabajador y un software para capturar y análisis de movimiento. La



información proporcionada por los sensores durante la captura en campo, en combinación con un software de animación 3D, permiten reproducir el movimiento del trabajador con un modelo biomecánica, posibilitando llevar a cabo una valoración desde el punto de vista de la Ergonomía de forma ágil y precisa. Asimismo, una vez reproducido el movimiento en un entorno virtual, se puede interactuar con la escena y con el propio modelo, lo que posibilita simular diferentes percentiles de población realizando la misma tarea, valorar los riesgos en cada caso aplicando diferentes métodos de evaluación, realizar el rediseño del puesto y verificar como repercuten estos cambios en la valoración de los riesgos, etc.

En la actualidad existen diferentes sistemas muy avanzados para la captura de movimiento. No obstante, la mayoría son de uso restringido condiciones de laboratorio y requieren una alta capacitación de los profesionales que lo utilizan.

Consecuentemente, se podrá precisar en qué momentos de la actividad pueden producirse lesiones musculoesqueléticas y sobre que articulaciones en concreto, lo que facilita el realizar un rediseño de la operativa de trabajo evitando posibles situaciones de riesgo.

#### **7.4. Seguimiento de ojos.**

Las aplicaciones a este sistema son muchísimas. Una utilidad prevista es la militar, permitiendo sistemas de auto apuntado y control en entornos de combate aéreo. En el mundo medico puede ser muy útil para el entrenamiento de médicos y mejorar la actuaciones en quirófano. La aplicación en el mundo del márketing es bastante interesante, ya que permitirá a los desarrolladores de productos saber en lo que realmente se fijan los consumidores, todo esto puede mejorar el diseño final de los productos, incluso la colocación de estos productos en una tienda. En la actualidad este sistema se está aplicando en la investigación tiempo de concentración en un coche y en qué puntos está más o menos atento el conductor.



### 23. Aplicaciones captura ocular (<http://goo.gl/z3Inf0>).

Este es uno de los sistemas más potentes y con mayor colaboración internacional, teniendo patrocinio de Google, Microsoft, Sony, Intel, NASA...

## 7.5. Animación en el cine.

En los últimos años las técnicas de mocap han perfeccionado tanto hardware software permitiendo mayores posibilidades, prestaciones y precisiones. Empresas como Autodesk (conocida por su 3D Studio Max), Kaydara (conocida por FilmBox y MotionBuilder, y absorbida por Alias) o Alias (conocida por Maya, y actualmente absorbida por Autodesk), se han hecho un hueco en el mundo de mocap permitiendo que sus programas de animación sean compatibles con datos capturados en mocap. Como hitos importantes destacar los siguientes:

- Final Fantasy: Primera película en usar mocap para crear humanos digitales realistas.
- El Señor de los Anillos: Las dos torres, fue la primera película reconocida por la Academia de las Artes y las Ciencias Cinematográficas de Hollywood como el primer gran logro de la captura de movimiento en el cine.

- Polar Express es el primer largometraje grabado íntegramente con mocap.

Básicamente los sistemas de mocap permiten obtener datos de movimientos reales, de cualquier objeto, animal o humano, permitiendo implementarlo en entornos virtuales. Esto mejora las animaciones en gran medida ya que los movimientos son reales y no ecuaciones estimadas de cómo se deben ser esos movimientos.



24 . Mocap en Avatar (<http://goo.gl/6h4QjW>)

## 7.6. Aplicaciones en los videojuegos.

En la actualidad la captura de datos es utilizada en la industria en los videojuegos, de esta forma permite una novedosa forma de jugar en entornos virtuales, permitiendo al usuario una mejor inmersión en el juego. Las principales empresas que tienen estos sistemas son Sony (PlayStation Move), Microsoft (Kinect) y Nintendo.

También hay que tener en cuenta la aplicación en la propia creación de los videojuegos. Esto al igual que en mundo de la animación en el cine sirve para crear unos movimientos más reales en los personajes. Por poner un ejemplo en el desarrollo del videojuego FIFA (EA Sports) es común que los propios jugadores de fútbol realicen sesiones de captura de movimiento para que el comportamiento de los personajes en el juego sea lo más parecida a la realidad.



25. Creación FIFA 14 (<http://goo.gl/LQqNTv>)

### 7.7. Aplicación militar.

En el ámbito militar, hasta donde se puede llegar a obtener información, son conocidas ciertas aplicaciones para el entrenamiento en combate, desarrollando habilidades en los militares que requieran destreza y velocidad. Un ejemplo en uso, en la aviación, son los cascos que capturan el movimiento y permiten interactuar con dispositivos de realidad aumentada (HMD, Helmet Mounted Display).



26. Casco Cobra para los cazas Gripen (<http://goo.gl/1gwWPz>).

Los sistemas de captura de movimiento permiten recrear situaciones reales como un combate armado, de forma que un sujeto pueda interactuar con "enemigos" virtuales en un entorno más controlado y con mayor posibilidad de estudio y mejora que el que se utiliza actualmente. Los movimientos, gestos y el comportamiento en general del sujeto, serán proyectados dentro del entorno virtual en el que se desarrollará el entrenamiento,

y posteriormente analizados para la mejora de la actuación en la situación concreta que se entrena.



27 . Entrenamiento militar con realidad virtual (<http://goo.gl/NLj8Qu>).

## 8. Configuración del sistema de captura de movimientos y puesta en uso equipo de la ULL.

Como se ha mencionado anteriormente, una vez que se ha investigado lo referente a la tecnología de captura de movimientos, el siguiente paso en la elaboración de este proyecto es la puesta a punto del propio sistema de captura de movimientos con el que se va a trabajar (sistema cámaras Optitrack y software Mocap Arena).

### 8.1. Cámaras.

La configuración en nuestro caso está basada en la utilización de 6 cámaras. Estas se colocan formando un hexágono alrededor del área en el cual se llevará a cabo la toma de datos, y a una altura de entre 2 y 2,5 metros. Las cámaras se pueden colocar en forma de retrato (horizontal) o en apaisado (vertical) dependiendo de las necesidades a la hora de tomar los datos. En horizontal nos permitirán capturar hasta una mayor altura pues el tamaño de captura del sensor es de 480x640, mientras que en vertical ofrecen la ventaja de capturar movimiento en un área de trabajo más amplia pero de menor altura, de 640x480. Es importante destacar que cuando hablamos de la orientación de la cámara, no nos referimos al chasis de la cámara sino a la orientación de los sensores de la cámara como tal. Se utilizarán en modo apaisado (vertical) en este caso, pues para la aplicación que se le va a dar al sistema resulta más útil tener una mayor área de trabajo a lo ancho que a lo alto, lo que permitirá que el sujeto se desplace más cómodamente por la zona de trabajo, siendo la altura un aspecto que se ajustará mediante la propia colocación de las cámaras.

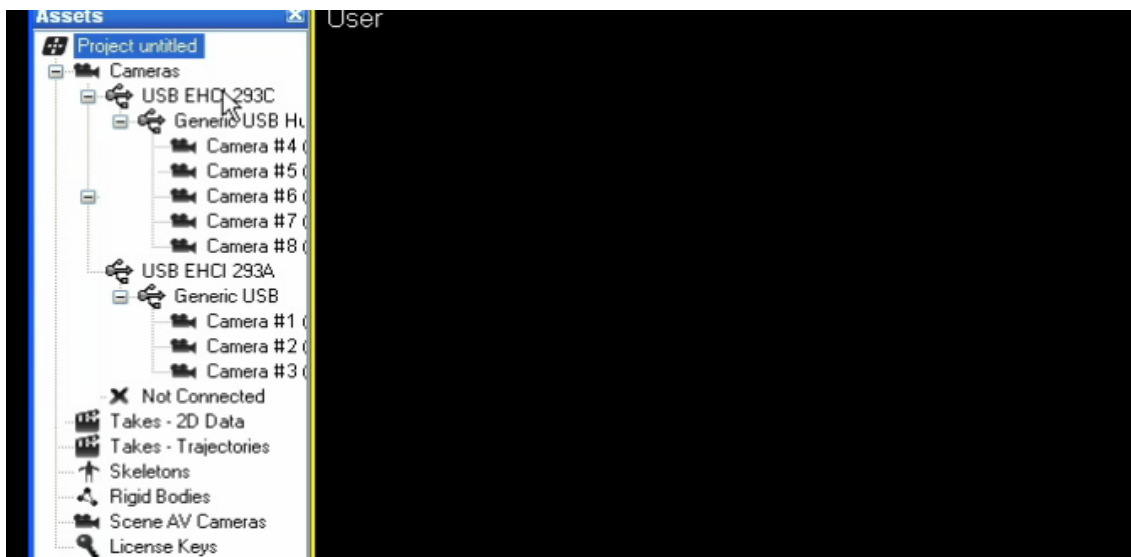


28. Sistema de 6 cámaras utilizado



### 29. Cámara en posición de apaisado

Cada cámara se conectará usando los dos cables que poseen. El cable de entrada se conectará con el de salida de la cámara que le precede y el de salida con el de la cámara siguiente, de modo que el cable de entrada de la primera cámara y el de salida de la última deberán quedar desocupados. Las cámaras quedarán numeradas siguiendo el orden de las conexiones. A continuación se conectan los cables USB a las cámaras y estos a su vez al ordenador. Cuando se trabaja con un alto número de cámaras, es conveniente que se dividan las conexiones entre varios puertos USB del ordenador de trabajo, para reducir la carga de trabajo del software de control de estos, pues se ha probado que este es bastante inestable en cuanto la carga de trabajo no es mínima.



### 30. Cámaras detectadas por el sistema

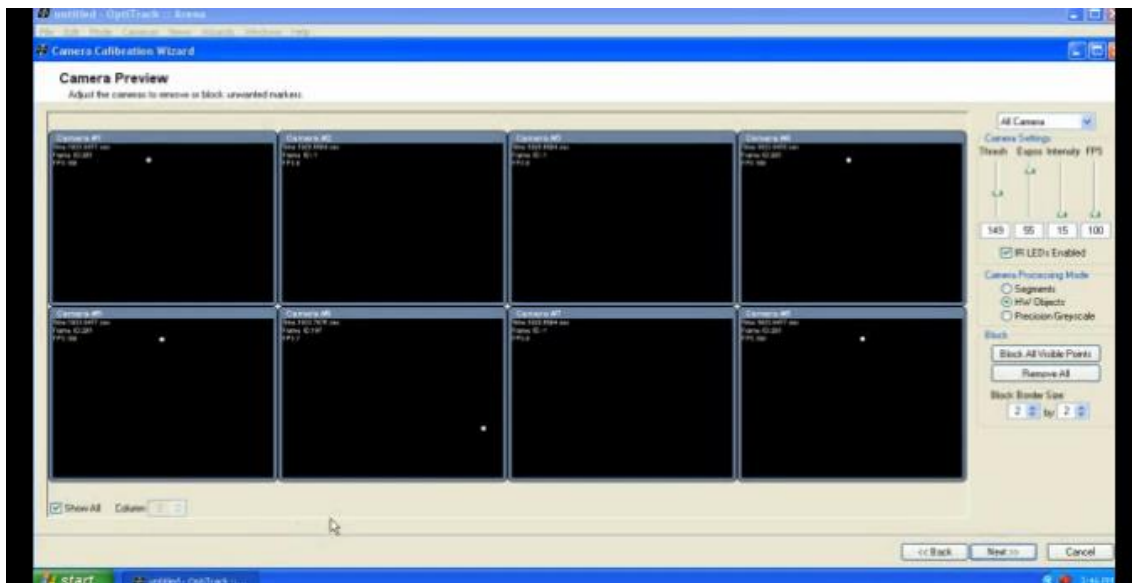


Para la correcta colocación de las cámaras se debe utilizar el software de captura de datos, en este caso Arena, y comprobar que en cada cámara se visualiza la escuadra de calibración de forma correcta, utilizando tanto el sujeto como los propios marcadores para determinar la altura máxima de captura de las cámaras. Es importante que se visualice totalmente el área de trabajo en cada cámara, esto es, garantizar que toda el área en el que se mueva el sujeto quede completamente cubierto por las cámaras.

## 8.2. Calibración.

Una vez se han colocado y conectado las cámaras, el siguiente paso es calibrar el sistema para que la toma de datos se realice de forma correcta. Es importante destacar, que al tratarse de un sistema de captura óptica de movimiento con marcadores pasivos, estos deben reflejar la luz que reciben, lo cual hace que el sistema sea altamente sensible a las variaciones de la iluminación, lo cual se debe controlar al máximo posible. La luz que van a reflejar a los marcadores se origina muy cerca de las propias cámaras, por lo que cualquier otra fuente de luz puede alterar el resultado de la captura de movimiento. Una vez en el software Arena, debemos comprobar que en el área en el que se van a tomar los datos, no hay puntos conflictivos, esto es, no existan puntos que el sistema reconozca como sensores y no lo sean. Estos puntos suelen aparecer cuando hay un exceso de luz en la sala de trabajo y esta queda reflejada en algún punto, lo que hace que el sistema confunda el elemento brillante con un marcador. Para ello, en el menú accedemos a Wizard y a continuación elegimos la opción Calibration. Comprobamos que están presentes todas las cámaras que están en uso y seguimos adelante. Encontraremos la vista capturada desde cada cámara, y una por una, podemos comprobar si existen puntos conflictivos, que veremos cómo puntos blancos.





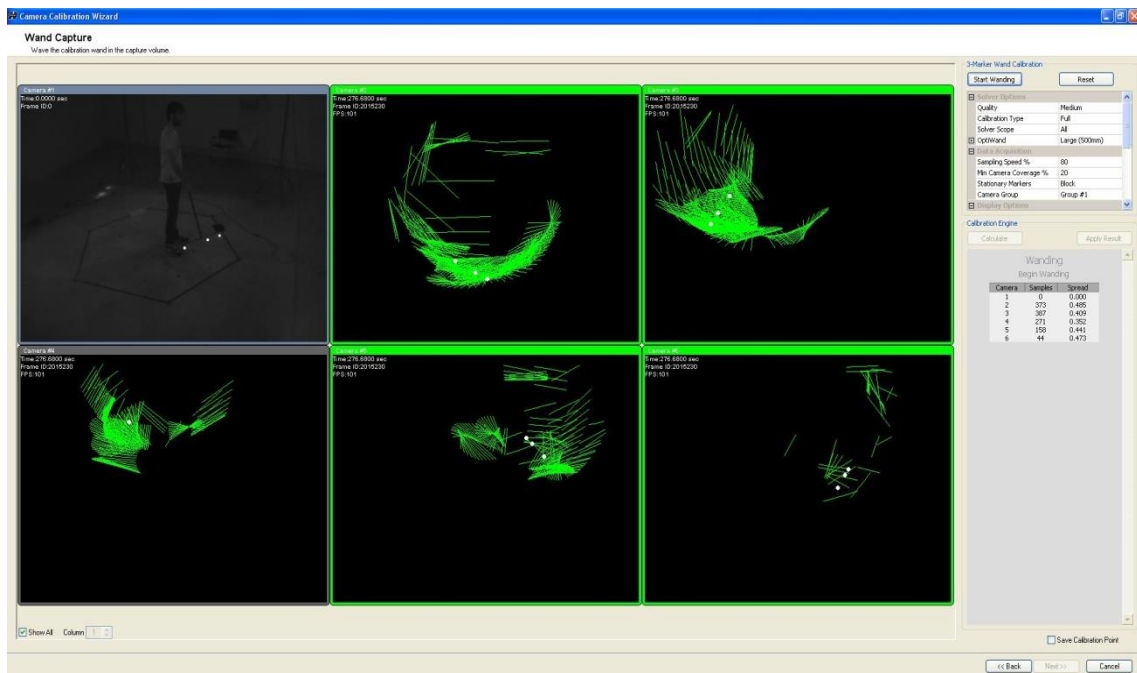
### 31. Puntos conflictivos (Puntos blancos)

En cada cámara podemos pasar la imagen a escala de grises y verificar qué es lo que produce estos puntos conflictivos, a fin de que podamos solucionarlo. Como se ha mencionado, por lo general es algún objeto en el que se refleja la luz o alguna cámara que queda visible desde otra. El software nos da la opción de modificar diferentes aspectos de las cámaras, a fin de encontrar la mejor configuración para que la captura sea lo más óptima posible, como por ejemplo el trillado, la exposición, la intensidad, y los fps (frames por segundo). Si aun ajustando estos aspectos resultase imposible eliminar estos puntos, el propio software nos permite bloquearlos, pero a costa de crear un punto ciego en el área del punto conflictivo, en donde los datos tomados no serían del todo precisos. Eliminados los puntos conflictivos, se utilizará una vara de marcadores para calibrar el espacio en el que se va a realizar la captura de movimientos. Existen diferentes tipos de varas utilizadas para la calibración, algunas poseen un único marcador mientras que otras sólo contienen uno. En algunos casos se trata de varios marcadores a lo largo de la vara, o como en el caso de la vara que utilizamos, tres marcadores en la punta en forma de tridente. Sea cual sea la vara que se utilice para la calibración del sistema, el proceso será el mismo, pero hay que indicar al software qué modelo es el utilizado para la calibración.



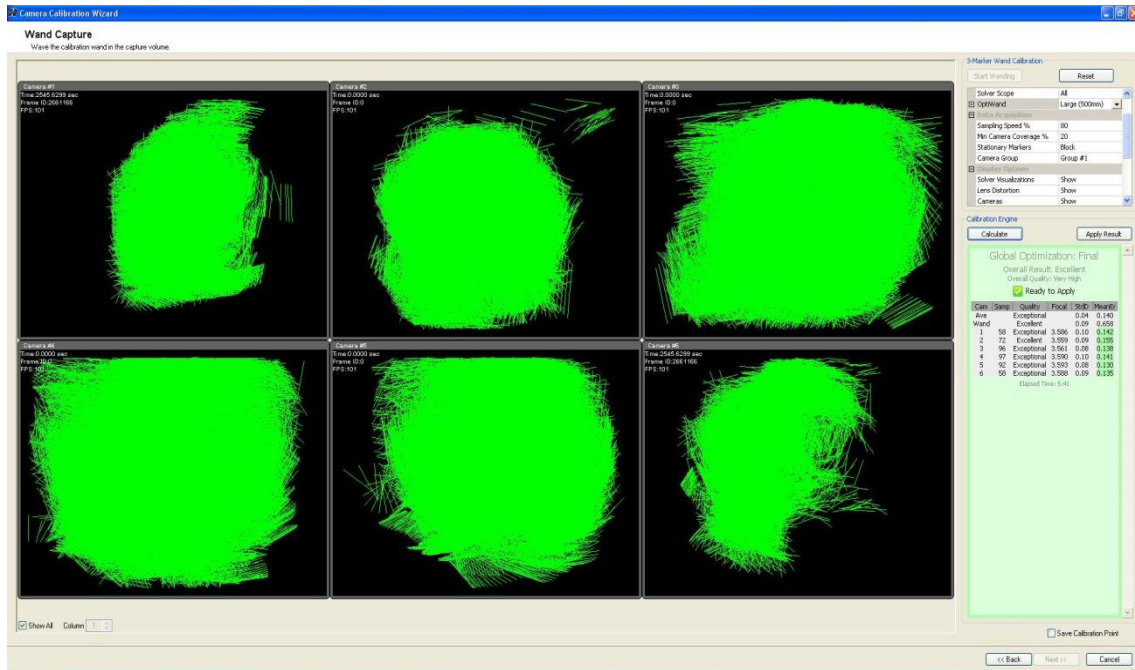
### 32. Vara con 3 marcadores utilizada para calibración

El software permite variar la velocidad de calibración. Para un sistema de 6 cámaras como el aquí utilizado, una velocidad alta es la adecuada. El proceso consiste en barrer el área en la que se va a trabajar con la vara, intentando ocupar todo el volumen que aparece en las distintas cámaras, que van registrando el espacio "barrido" en color verde. Podemos ir siguiendo el proceso también mediante cada cámara en escala de grises, sin que esto afecte al barrido de la zona.



### 33. Proceso de barrido del espacio de trabajo

Una vez las imágenes de todas las cámaras están prácticamente cubiertas de verde, el espacio está listo para trabajar en él y el rastro que deja la vara será rojo, para indicarnos que el barrido del área de trabajo ya ha finalizado.



#### 34. Espacio de trabajo listo para la captura de movimiento

Una vez se ha terminado con el proceso de barrido, se inicia el cálculo con el botón Start Calculation. Se deberá utilizar una configuración de 100 puntos de datos para el sistema de 6 cámaras, y el número mínimo de cámaras simultáneas debe ser siempre uno menos que el de cámaras utilizadas, por tanto serán 5. Una vez el proceso de cálculo termina, el software permite ver los resultados de cada cámara. La calidad del barrido de cada cámara debería ser excelente para garantizar un correcto proceso de toma de datos, de lo contrario se deberá repetir el proceso de barrido hasta obtener este resultado. Se debe comprobar también la distorsión de la lente, que aparecerá en forma de cuadrícula azul sobre el área barrida. Si esta apareciese distorsionada de alguna forma, la calibración ha sido errónea y deberá ser repetida. Cualquier cambio realizado en las cámaras en cuanto a localización, colocación o altura del objetivo hará que la calibración deba ser repetida, pues hará que los resultados sean erróneos.

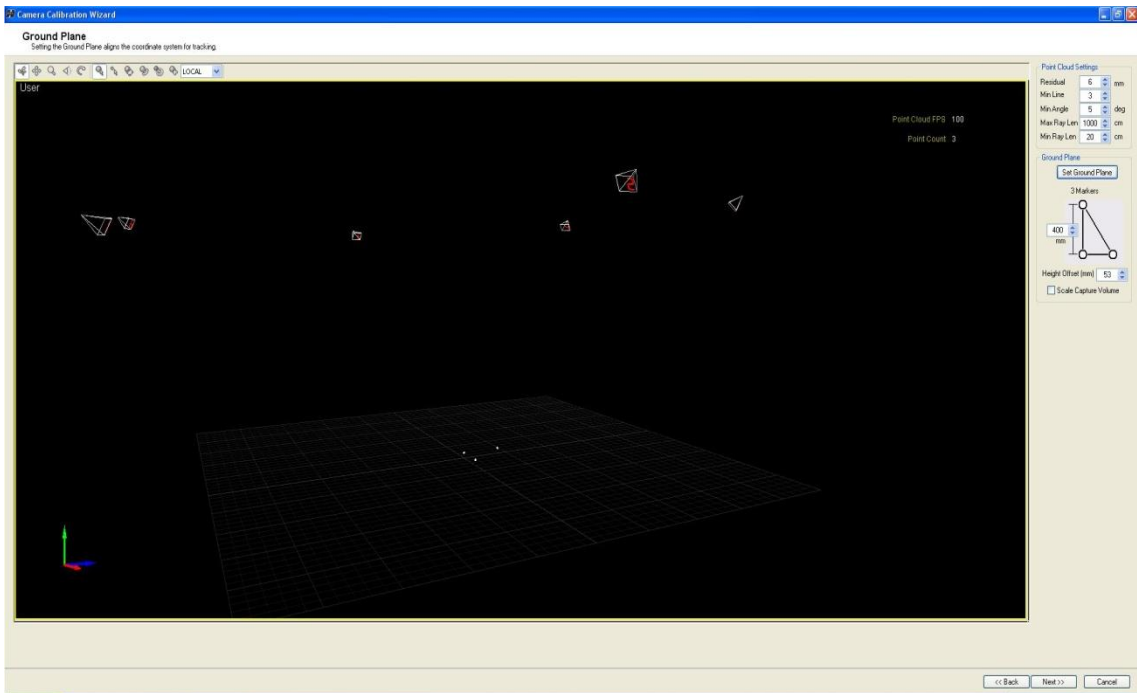
Otro punto a tener en cuenta en el momento de la calibración del sistema es la asignación del suelo, pues el espacio barrido queda registrado en el software como un volumen 3d, sin ningún tipo de referencia en cuanto a los planos X, Y y Z. Es

importante tener estos ejes definidos para que a la hora de tomar los datos exista una referencia para los movimientos. Mediante una escuadra con 3 marcadores, el sistema detecta el punto de origen para los tres planos.



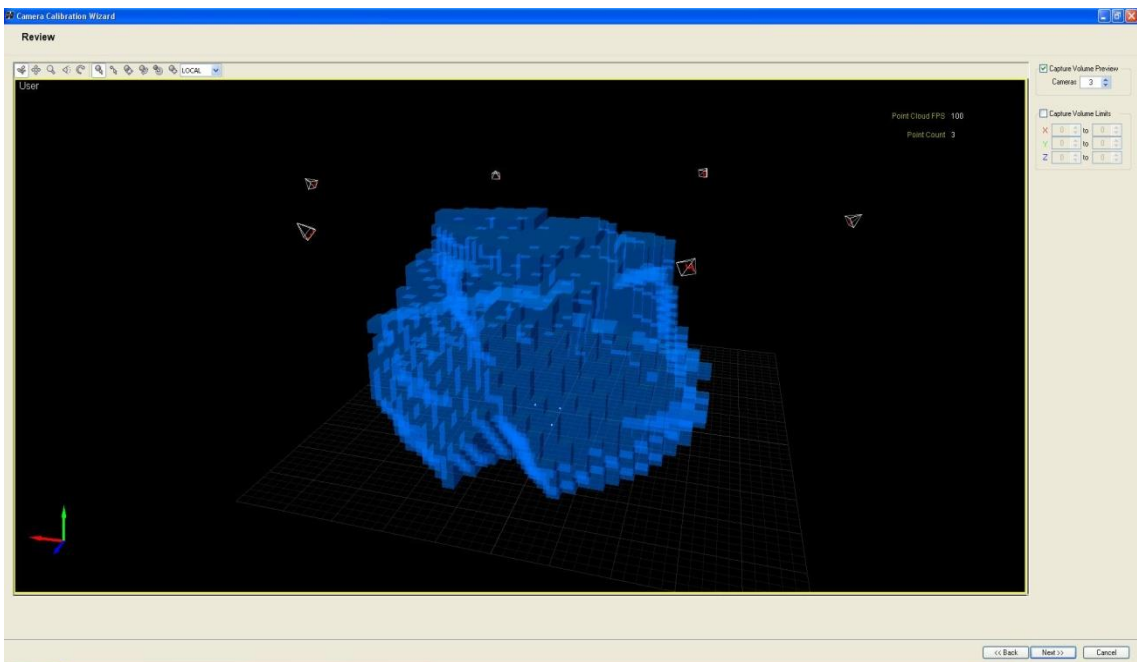
### 35. Escuadra utilizada para localizar el origen de los planos

Una vez colocada la escuadra en el centro del área de toma de datos, el botón Set Ground Plane finaliza la operación. Con esto el sistema ya tiene una referencia del suelo en el que se va a mover el sujeto, de forma que este no parezca estar flotando en un espacio tridimensional sin límites, lo cual será representado en pantalla por la aparición de los tres marcadores de la escuadra en un plano horizontal, por debajo del cual no se considerará el espacio para la captura de movimiento. Podemos movernos alrededor del área de trabajo y comprobar que el plano se ha colocado correctamente. Cabe mencionar que este paso de la calibración se puede realizar independientemente del resto, de forma que se puede cargar el proceso anterior de sesiones previas y sólo realizar la calibración del plano del suelo.



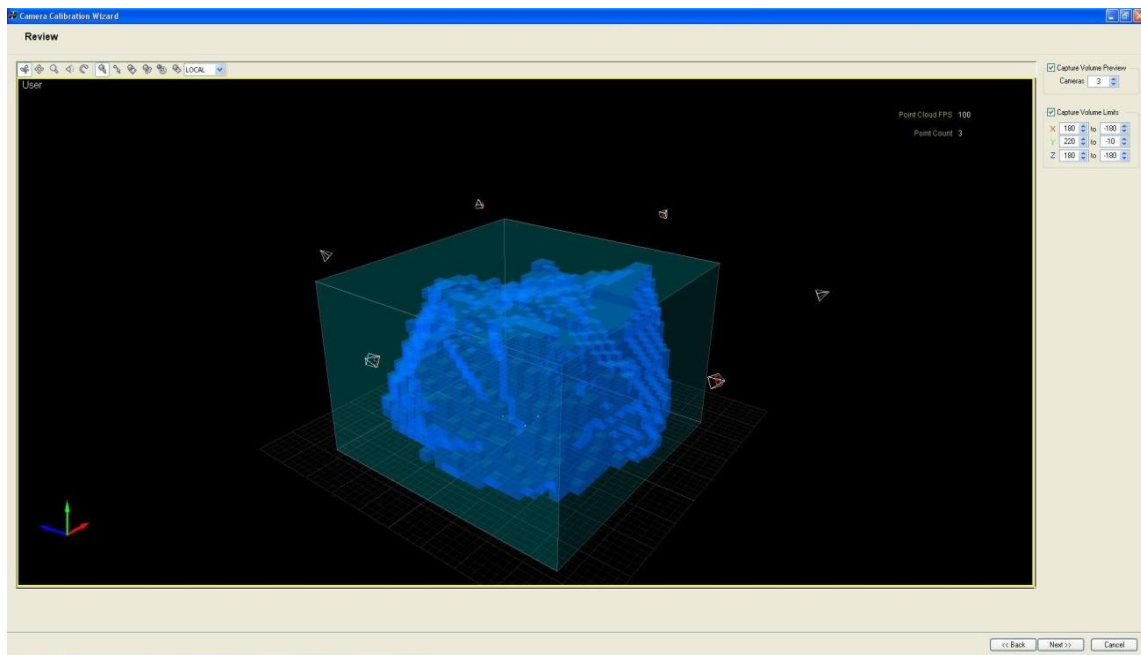
### 36. Espacio de trabajo con el suelo delimitado

Una vez realizada la calibración, el sistema permite revisar el volumen barrido, para comprobar que el proceso se ha hecho de forma correcta y el espacio es adecuado para pasar tomar datos. A mayor volumen barrido, mejor será el proceso de captura de movimiento.



### 37. Volumen barrido en la calibración

Una vez el sistema calcula el volumen de toma de datos, el último paso es ajustar los límites de la zona de trabajo, cosa que el software nos permite hacer manualmente. Tanto en los ejes X, Y y Z podemos ajustar dichos límites, para aprovechar al máximo el volumen barrido y maximizar la zona de trabajo de captura de movimiento.



### 38. Ajuste de los límites del espacio de trabajo

A continuación, el sistema nos permite guardar la calibración, de forma que pueda ser utilizada en futuras sesiones, y se puede comenzar a tomar datos.

## 8.3. Marcadores.

El sistema de captura de movimiento que se utiliza en este caso es de tipo óptico, que como ya se ha explicado anteriormente funciona mediante cámaras CCD y marcadores pasivos, que reflejan la luz que reciben. Los marcadores deben colocarse sobre el objetivo de estudio, sea una persona o un objeto. Cuantos más marcadores se hayan colocado, más precisa será la medición, pero más complicado será que el sistema los detecte todos de forma correcta. Es importante que los marcadores se coloquen de forma correcta en el sujeto para garantizar que el proceso se realiza de forma adecuada. En nuestro caso, los marcadores se han colocado en los puntos estratégicos utilizando parches de velcro sobre una malla destinada a usarse únicamente para ello. Se ha



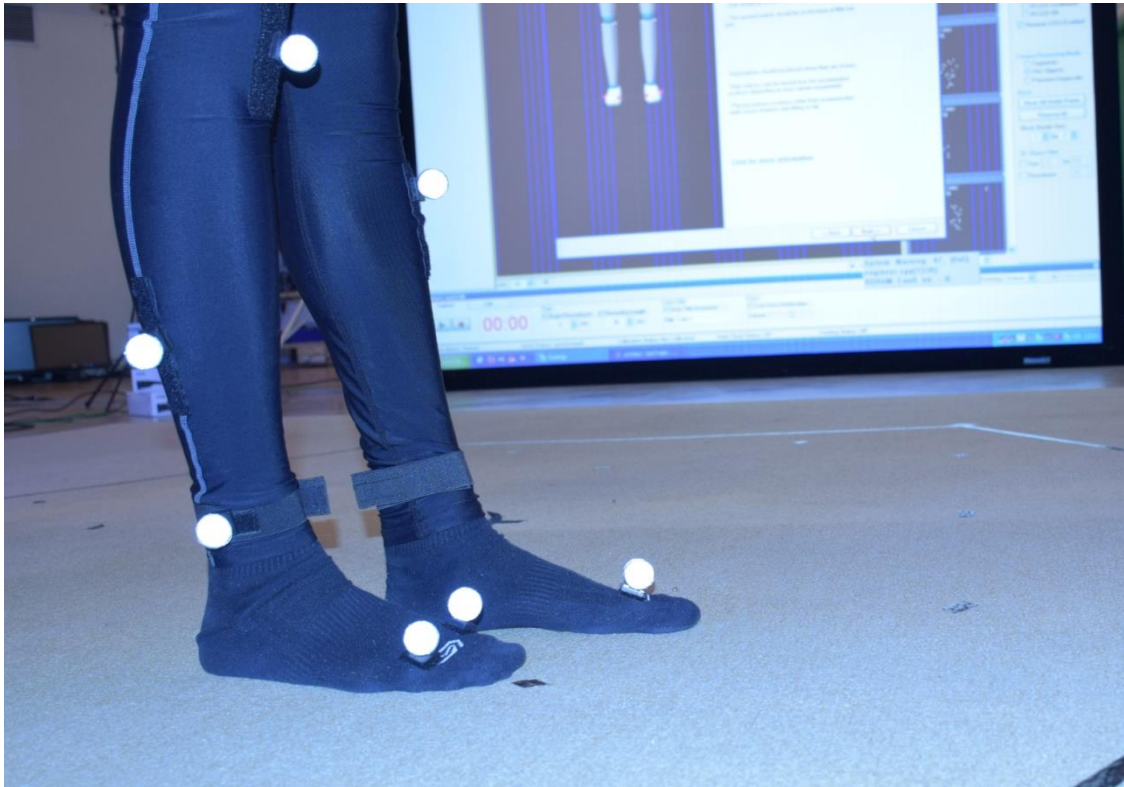
optado por una configuración de 34 marcadores pues tras muchos intentos de calibración se llegó a la conclusión de que dadas las condiciones del área de trabajo en el que se llevó a cabo el proceso, cuantos más marcadores se utilizaran más complicado resultaba que el sistema los detectase todos, haciendo por ello que el proceso se viera afectado por la inestabilidad en la toma de datos. Con 34 marcadores se obtuvieron los mejores resultados en la calibración y en la propia captura de movimiento.



39. Colocación de los marcadores en el cuerpo del sujeto

### 8.3.1. Pies.

Los marcadores en los pies se deben colocar de forma que uno quede encima del dedo gordo y el otro encima del dedo pequeño. Un tercer se coloca justo entre los otros dos, y el cuarto se coloca en el talón.



40. Marcadores de los pies

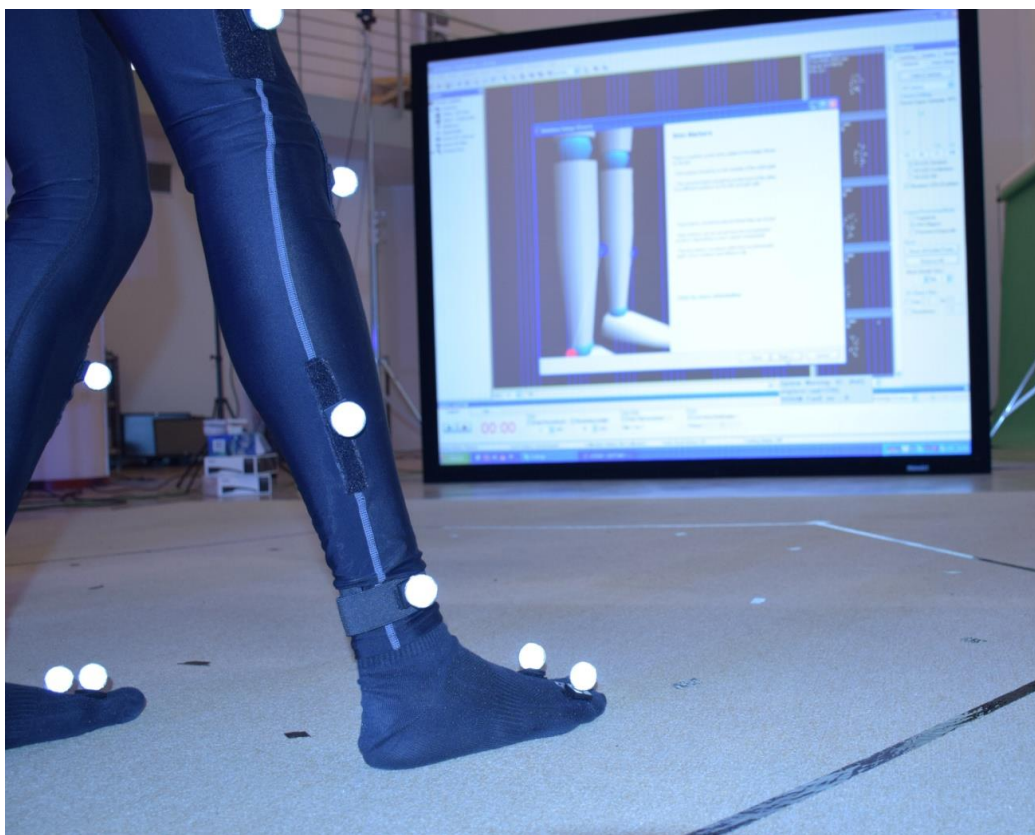
### 8.3.2. Piernas.

Estos marcadores se deben colocar de forma arbitraria y asimétrica en cada pierna. Se colocarán, en cada pierna, uno a la altura de los tobillos, uno en las canillas, uno a la altura de la rodilla y uno en los muslos. Si la prueba requiere que el sujeto se agache, resultará conveniente colocar un nuevo marcador en la zona de los gemelos.

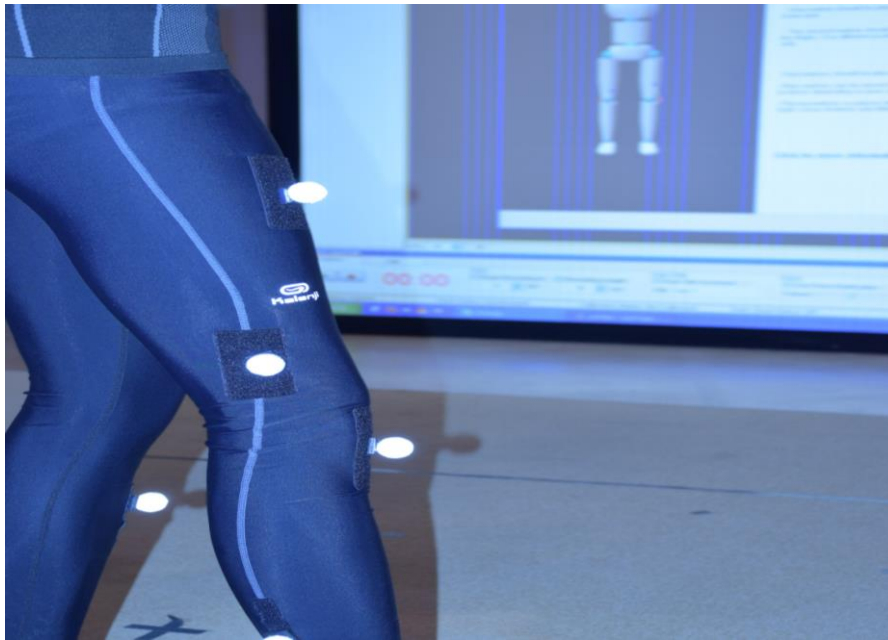




41. Marcadores de las piernas 1 (Tobillos)



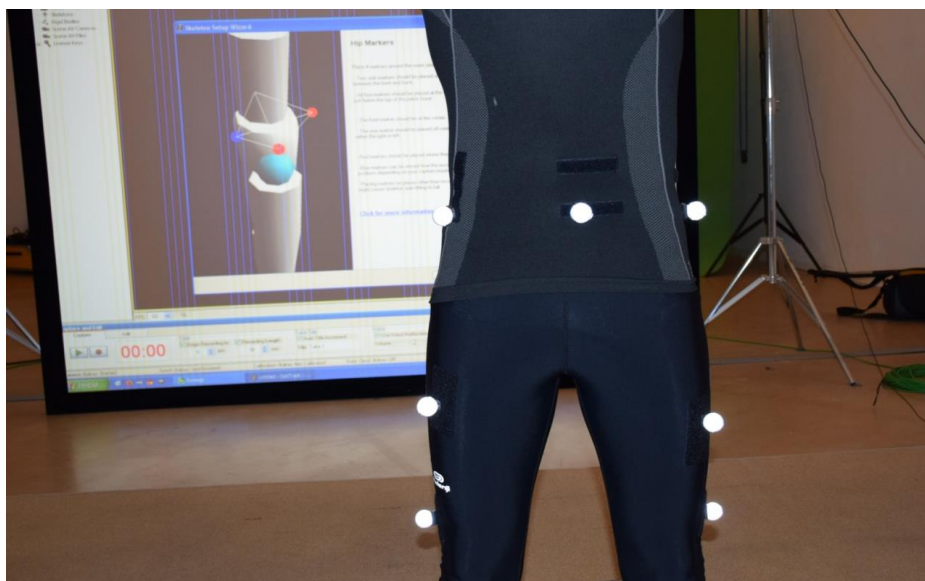
42. Marcadores de las piernas 2 (Canillas)



43. Marcadores de las piernas 3 (Rodillas y muslos)

### 8.3.3. Cintura.

Los 3 marcadores de la cintura se colocarán a la misma altura de forma que queden en un mismo plano horizontal, uno a cada lado y uno justo al frente, por ejemplo justo sobre el ombligo. Cuando en la captura de movimiento participa más de un sujeto, se colocará un marcador en la espalda, sobre la misma horizontal que los de la cintura pero en lugares ligeramente diferentes, que permitirá que el software distinga a los participantes.



44. Marcadores de la cintura

#### 8.3.4. Espalda.

En la espalda se colocará un marcador en el centro, a la altura de los hombros, con dos marcadores más colocados a unos 20cm por debajo de este, y hacia los lados formando un triángulo. Debe verificarse que el movimiento de los brazos no resulta en un desplazamiento significativo de estos marcadores.

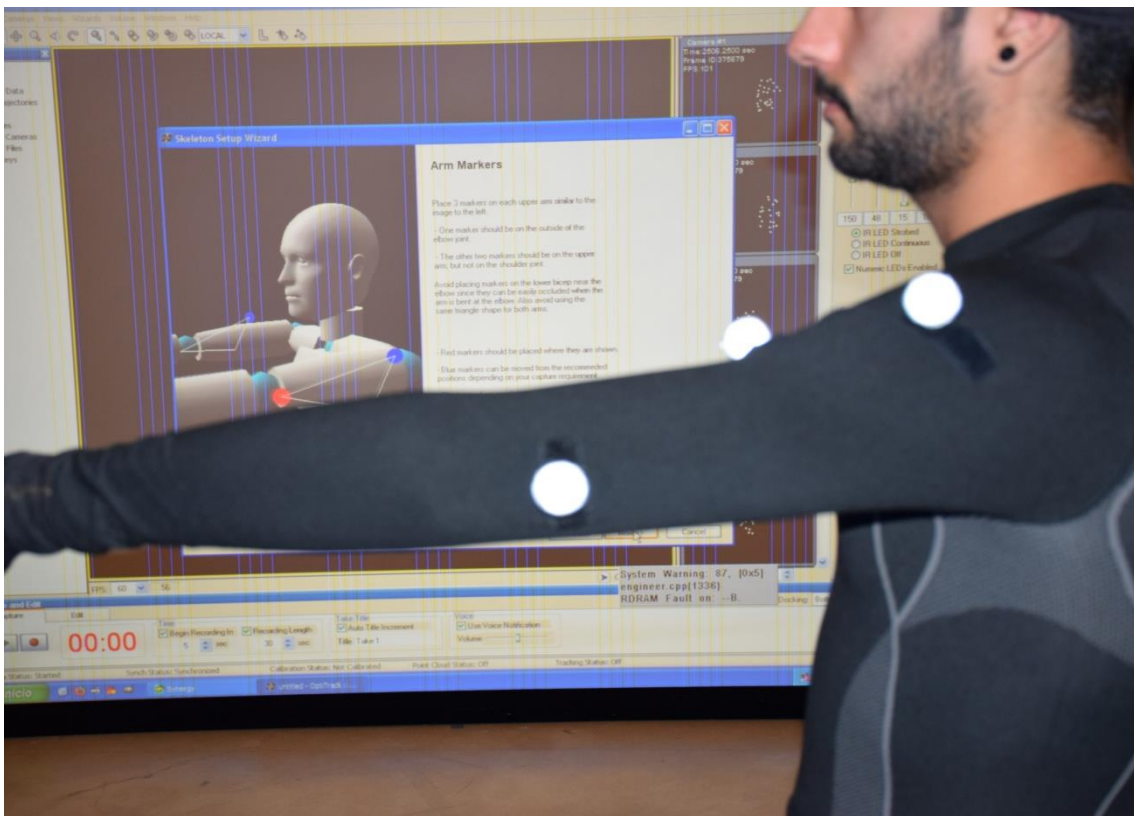


45. Marcadores de la espalda

#### 8.3.5. Brazos.

El más crítico de los marcadores que se colocarán en los brazos es el del codo. Este no se debe colocar justo sobre la articulación del codo pues el movimiento de los músculos causaría que el marcador no fuese preciso. Por tanto, se debe colocar un poco por encima de la articulación. Una vez más debe asegurarse que el movimiento del brazo no resulta en un movimiento incorrecto del marcador, y cuando se ha colocado correctamente, debe parecer que apunta hacia atrás al extender los brazos.

Los otros marcadores se colocarán sobre el bíceps del sujeto, de manera que estos formen un triángulo, que no debe ser isósceles, es decir, no debe colocarse el último marcador a la altura del segundo sobre el bíceps, sino más bien a medio camino entre los otros dos. Este tercer marcador se ha de colocar de forma que sea asimétrica entre los dos brazos. La idea aquí es que los triángulos formados por los marcadores de cada brazo sean distintos entre sí, pues el sistema los detectará como un cuerpo rígido, y dichos cuerpos rígidos deben ser diferentes para evitar que el sistema los confunda.

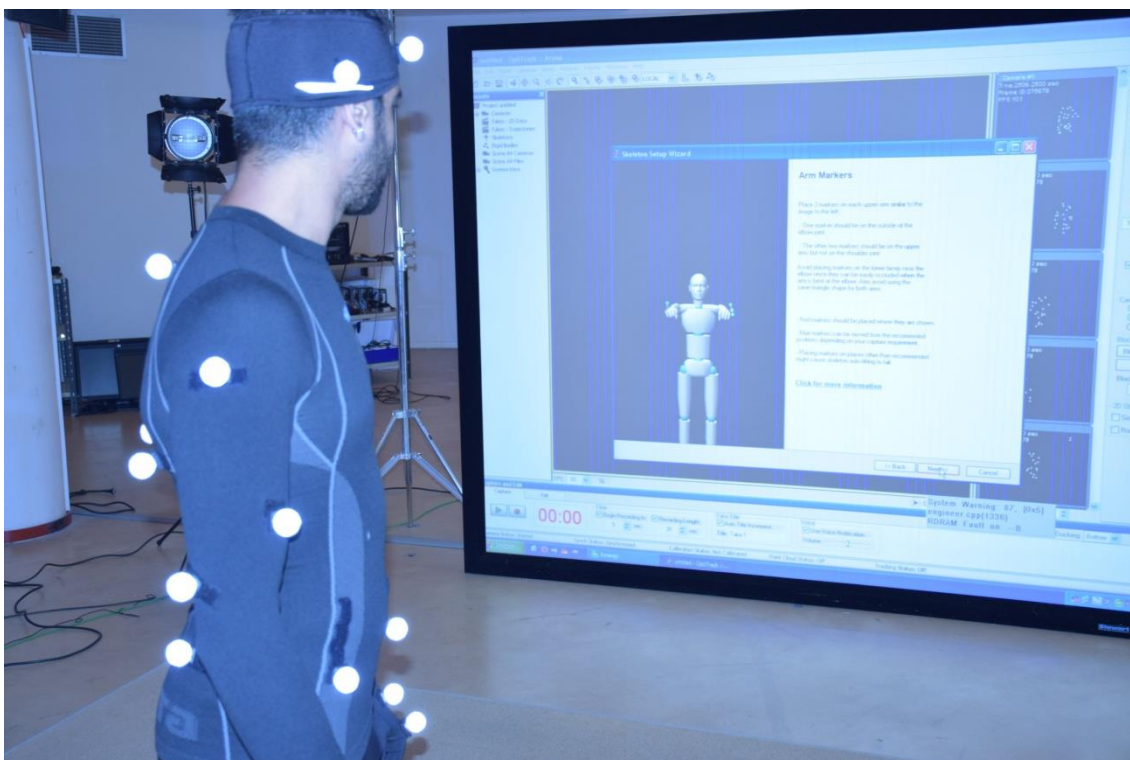


46. Marcadores de los brazos 1





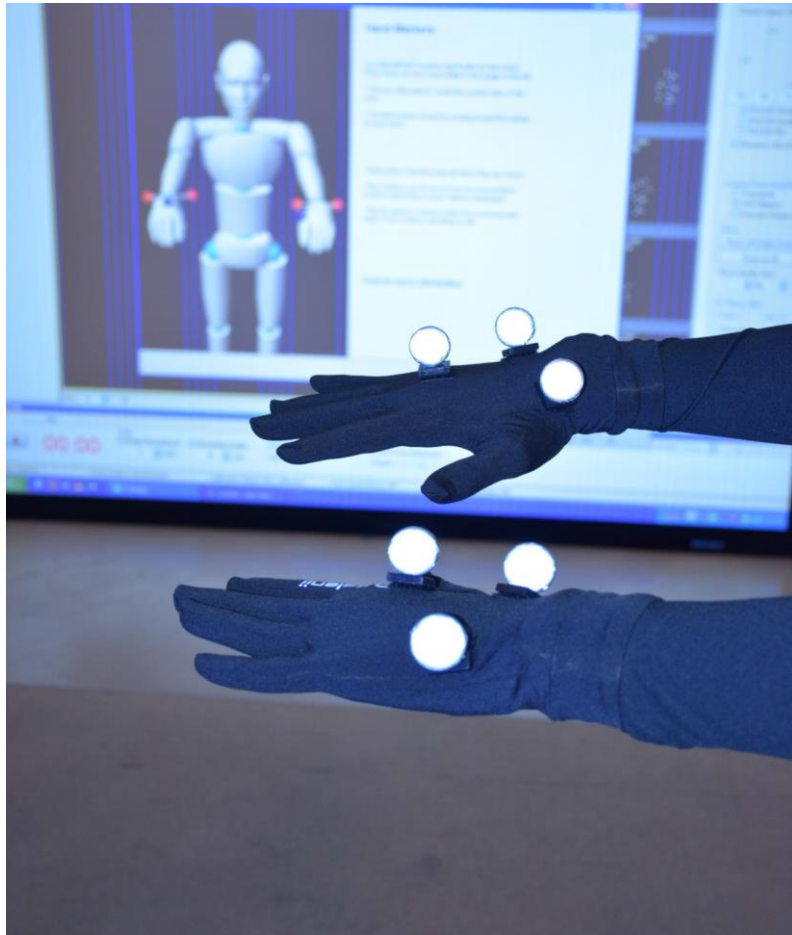
47. Marcadores de los brazos 2



48. Marcadores de los brazos 3

### 8.3.6. Manos.

Para las manos, se colocarán dos marcadores alineados cada uno a la altura de la muñeca, y un marcador por el lado externo de la mano, ubicado a la altura de la base del dedo meñique. La colocación debe ser igual para ambas manos en este caso.



49. Marcadores de las manos

### 8.3.7. Cabeza.

Los marcadores se colocarán, uno sobre la oreja, a cada lado, y un tercero al frente, ligeramente posicionado hacia un lado.



50. Marcadores de la cabeza

#### 8.4. Skeleton.

Una vez los marcadores se han colocado correctamente en el sujeto, se procederá a calibrar el llamado Skeleton. Esto consiste en hacer que el software reconozca el conjunto de marcadores que lleva el sujeto y los asocie a una forma humana, de modo que los movimientos que realice dicho sujeto se representen en el sistema no como un conjunto de marcadores colocados de forma aleatoria y suspendidos en el espacio, sino mediante esta forma humana, el Skeleton. Para ello, hay que trabajar con el Skeleton Wizard. Este permitirá que el proceso de configuración sea sencillo. Lo primero que debe hacer es elegir el número de marcadores con los que va a realizar la configuración. El software da como opción 34 o 38 marcadores. A mayor número de marcadores, más preciso será el proceso de toma de datos, pero también será ligeramente más complicado que el sistema detecte de forma correcta todos los marcadores. En este caso, como ya se comentó anteriormente se utilizará la configuración de 34. En el siguiente paso, el sujeto debe colocarse en forma de T, esto es, con los pies juntos y los

brazos abiertos y extendidos hacia los lados, y de frente al lado positivo del eje Z.



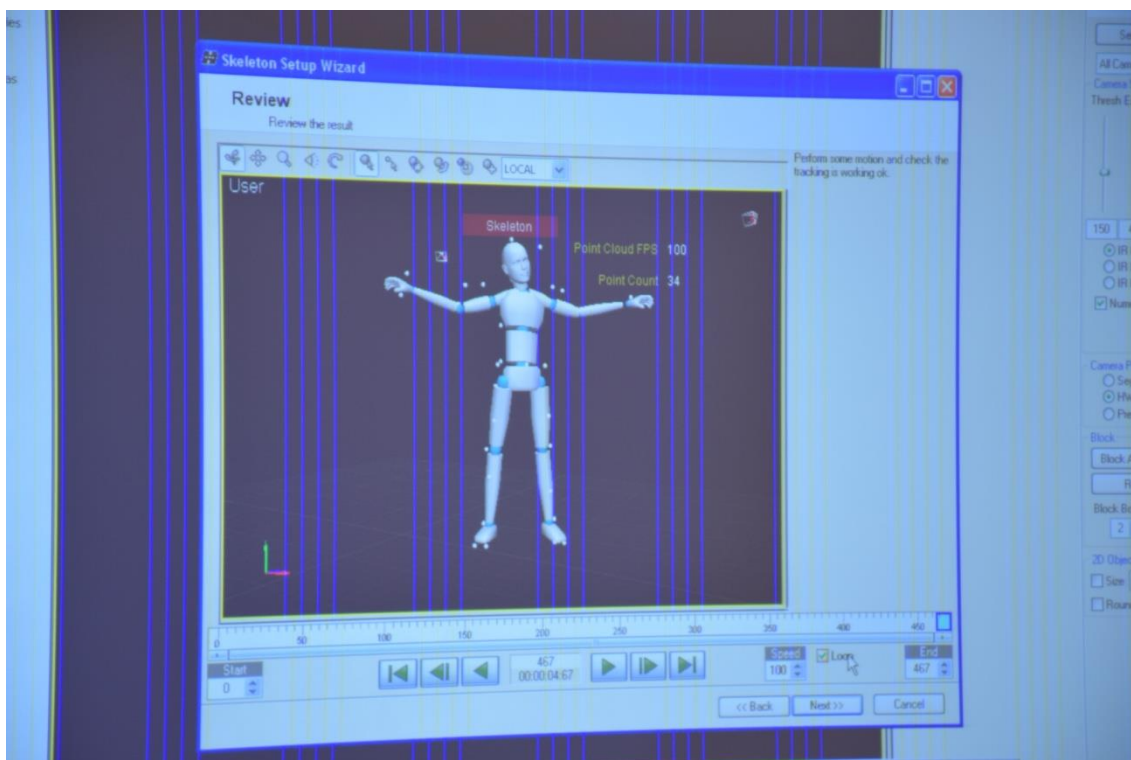
#### 51. Pose T

Entonces, se da comienzo a la grabación de la sesión de captura de movimiento del sujeto. Utilizando la herramienta Skeleton Wizard antes mencionada, el software detectará todos los marcadores posibles mientras el sujeto permanece quieto en la posición antes mencionada y mientras realiza algunos movimientos básicos.





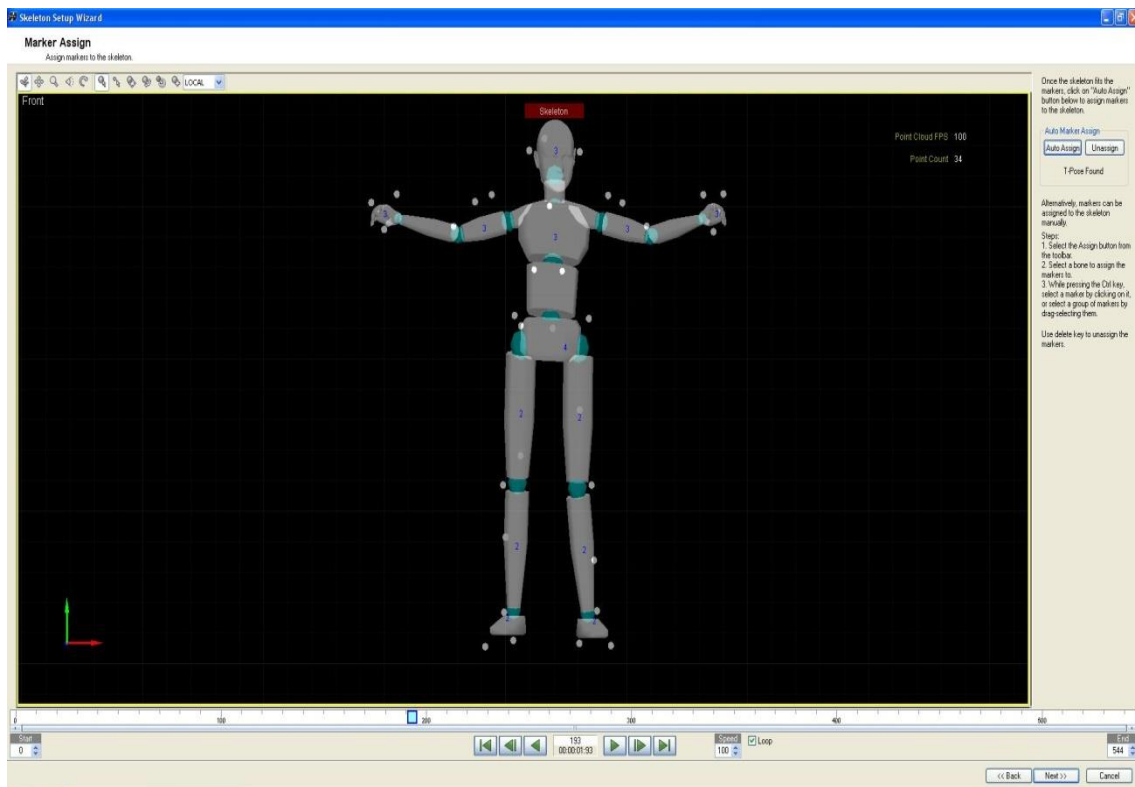
52. Reconocimiento de los marcadores 1



53. Reconocimiento de los marcadores 2

Una vez hecho esto, se procede a "emparejar" el conjunto de marcadores que el sistema ha detectado y el Skeleton. Para ello se requiere ajustar la altura y el ancho de los hombros del sujeto. Incluso es posible ajustar la longitud de diferentes huesos para un resultado extremadamente preciso, pero no es necesario en este caso.

Por último, los marcadores se pueden asignar automática o manualmente al Skeleton.



#### 54. Asignación de los marcadores

Una vez se ha configurado todo, el software representará los movimientos realizados anteriormente por el sujeto con el Skeleton. Es posible guardar la configuración del Skeleton para futuras sesiones de captura de movimiento.

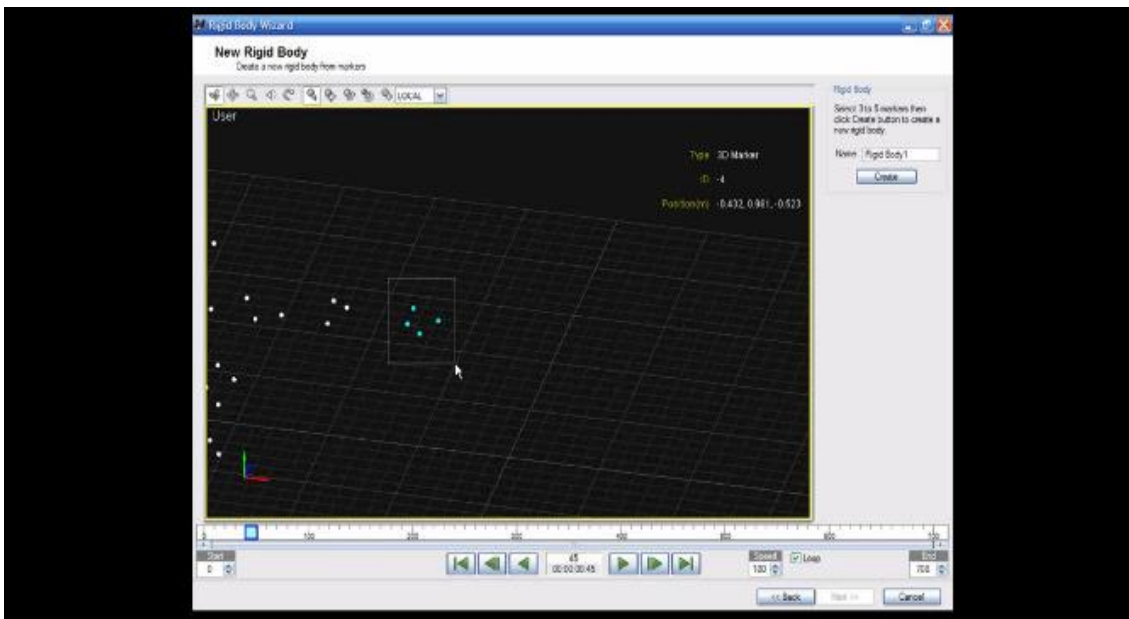
### 8.5. Cuerpos rígidos.

El software Arena permite, además de digitalizar al sujeto que lleva los marcadores, crear cuerpos rígidos, con los cuales es posible introducir prácticamente cualquier objeto en la realidad virtual del software, de modo que dicho sujeto pueda interactuar con este, y el software pueda realizar el mismo tipo de

mediciones sobre ambos. Esto es posible creando un objeto en una herramienta de diseño CAD, y mediante un tercer programa de software convertirlo a un archivo de tipo .x, con lo cual el software Arena permite importarlo y utilizarlo como cuerpo rígido.

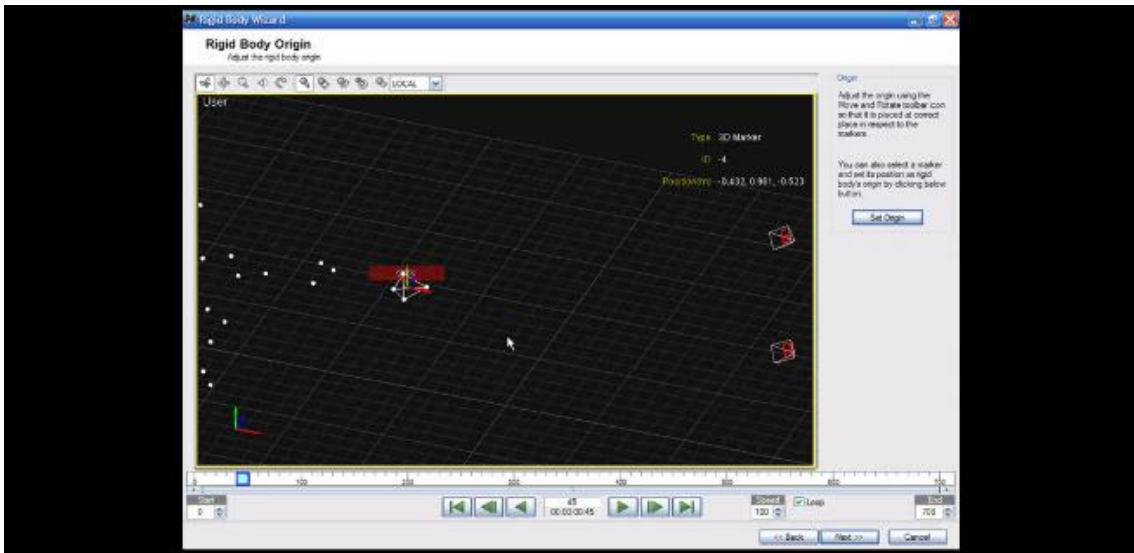
Si por otra parte se desea crear un cuerpo rígido, el procedimiento para crear dichos cuerpos, que se realiza mediante la herramienta Rigid Body Wizard, consiste en colocar varios marcadores en alguna forma o patrón poco común o específica, de modo que se pueda configurar el sistema para que reconozca dicho patrón y lo asocie únicamente a un objeto virtual. De esta forma, a dicho conjunto de marcadores se les asociará con un objeto, del cual se puede configurar el tamaño, el sentido en el que está colocado, a donde apunta, etc.

El primer paso tras iniciar el Rigid Body Wizard será colocar los marcadores en el objeto con el que se desea trabajar. La idea aquí, como ya se ha comentado, es colocarlos en una forma única y específica, de forma que una vez que con el software se asocie al cuerpo rígido deseado, este sea capaz de reconocerlo en futuras sesiones de trabajo. Es conveniente evitar colocarlos en línea recta, pues resulta complicado que el software detecte el movimiento del cuerpo rígido de forma precisa. Una vez hemos colocado los marcadores, damos comienzo a la grabación como ya se hiciera con el Skeleton. A continuación seleccionaremos los marcadores que se desean asignar al cuerpo rígido.



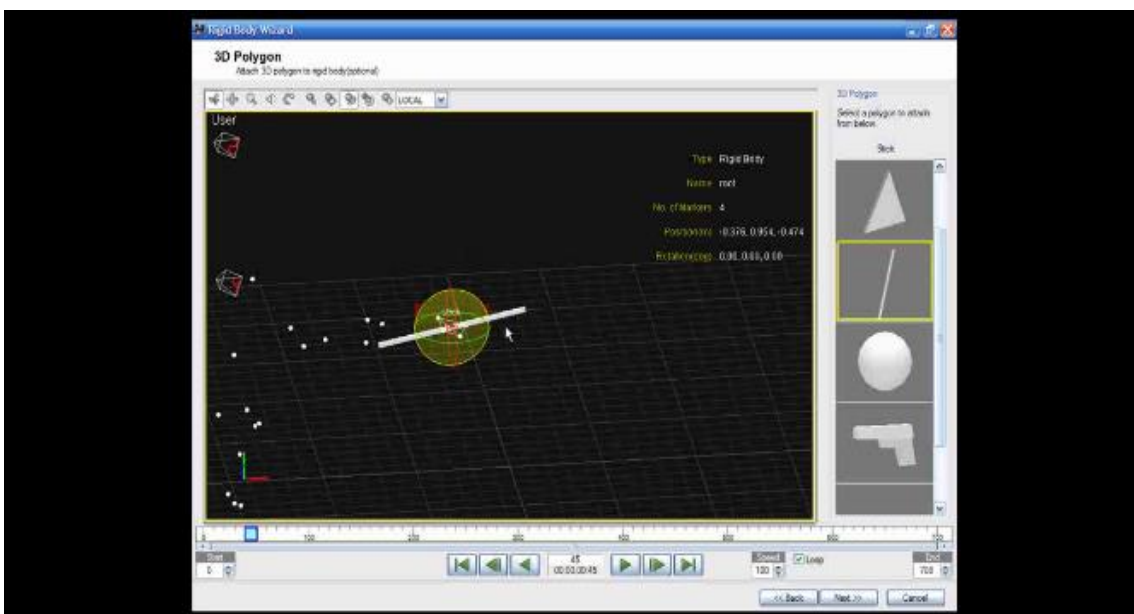
55. Selección de los marcadores

El siguiente paso es asignar el origen del objeto, de forma que pueda asignar un marcador mediante el cual se medirán todos los movimientos y giros del cuerpo rígido. A partir de este origen, también podremos asignar hacia donde queremos que "apunte" el cuerpo rígido, una vez se asigne al conjunto de marcadores.



#### 56. Asignación del origen

Por último, asignaremos el cuerpo rígido al conjunto de marcadores. Podemos escoger entre la biblioteca de cuerpos que posee el software de arena o los diseños que hemos importado nosotros mismos. Podemos mover el objeto, cambiar la orientación y modificar otros aspectos que permitan que el sujeto interactúe con el objeto al igual que lo haría en la vida real.



#### 57. Selección del marcador a asignar

Se pueden crear tantos objetos como se deseen, y el software permite almacenarlos y crear una base de datos de objetos asignados a distintos patrones con el fin de ser utilizados en futuras sesiones, añadiéndose a la biblioteca de objetos ya existente en el propio software.

## **9. Banco de pruebas.**

### **9.1. Generales.**

Se ha realizado la captura de una serie de movimientos, con la participación de distintas personas. Los datos recopilados serán almacenados y se encuentran disponibles para la consulta y descarga en la web.

<http://atrae.webs.ull.es/capturadormovimiento/>

### **9.2. Movimientos especiales.**

Con carácter específico se realizará la captura de movimientos especiales cuyos datos serán explicados en apartados sucesivos.

### **9.3. Adquisición de los datos.**

Una vez se ha concluido con la fase de realización de las pruebas propiamente dichas y la correspondiente captura de movimiento, llega el momento de extraer y analizar los datos obtenidos a lo largo de las sesiones de trabajo. El software Arena permite visualizar distintos parámetros de los diferentes cuerpos que se están estudiando, como por ejemplo los movimientos de cada uno de los marcadores en los planos X, Y y Z, así como las rotaciones en estos tres planos. De esta forma podemos obtener una representación muy aproximada de los movimientos realizados por los marcadores, y a su vez por el cuerpo que se está estudiando. Para cada prueba de las citadas anteriormente se han obtenido tres archivos, consistentes en un archivo de video con la grabación del movimiento captado por los marcadores, un archivo de los datos captados en los planos antes mencionados y por último un archivo de texto con estos datos. Una vez se han exportado los datos obtenidos de cada proceso de captura de movimiento, el siguiente paso es analizarlos e interpretarlos.

## **9.4. Listado de pruebas y datos.**

Siguiendo los procedimientos antes mencionados se ha confeccionado el siguiente listado de pruebas con sus correspondientes datos, obtenidos directamente del programa Arena. Este banco de pruebas está situado en la red, donde se encuentra disponible todos los archivos obtenidos.

### **9.4.1. Bateo.**

La primera prueba realizada en el sistema de captura de movimiento ha consistido en una prueba de bateo. Se ha dispuesto de un bate de baseball de aluminio, de 71 cm de largo y 5.71 cm de diámetro en el que se han dispuesto tres marcadores equidistanciados a 10 cm, formando un ángulo. Esto último ha demostrado ser muy importante a la hora de obtener los datos, pues colocando los tres marcadores alineados de forma recta completamente, el sistema resulta incapaz de "seguir" el movimiento del objeto de forma precisa. De ahí que se tomase la decisión de colocar los marcadores formando un triángulo. Una vez configurado y comprobado el correcto funcionamiento del sistema, mediante las herramientas del software mencionadas anteriormente se ha configurado un cuerpo rígido asociado a los tres marcadores del bate, lo que ha permitido obtener los datos. Se ha realizado el movimiento de bateo a distintas velocidades durante 3 series de 20 segundos, para cada uno de los sujetos participantes, en este caso dos. En total ha resultado en 6 sesiones de bateo de 20 segundos.

### **9.4.2. Saludo.**

La siguiente prueba realizada en el sistema ha sido de un movimiento de saludo con una mano. Para ello se configuró el Skeleton siguiendo las pautas descritas anteriormente, utilizando una configuración de 34 marcadores. El movimiento realizado por el sujeto ha consistido en un vaivén de izquierda a derecha con el brazo derecho, permaneciendo el resto del cuerpo lo más quieto posible. De los 34 marcadores utilizados por el sujeto, en la captura de este movimiento se han realizado dos sesiones de aproximadamente 10 segundos.

#### **9.4.3. Negación.**

Otra de las pruebas realizadas con el sistema utilizando la configuración del Skeleton ha sido la de negación. Esta prueba ha consistido en un movimiento con la cabeza de lado a lado, durante unos 10 segundos. Se han realizado dos sesiones.

#### **9.4.4. Afirmación.**

La siguiente prueba realizada ha consistido en un movimiento similar de cabeza, pero esta vez realizándolo de arriba abajo, similar a un movimiento de afirmación. De nuevo esta prueba se ha realizado intentando mantener el resto del cuerpo lo más estático posible por parte del sujeto. En total se realizaron dos sesiones de aproximadamente 15 segundos.

#### **9.4.5. Caminar pausado.**

Esta prueba ha consistido en un movimiento de caminar a baja velocidad, recorriendo el sujeto unos 8 metros.

#### **9.4.6. Caminar con sigilo.**

Esta prueba ha consistido en un movimiento de caminar a baja velocidad actuando con sigilo, recorriendo el sujeto unos 8 metros.

#### **9.4.7. Caminar en círculos.**

Esta prueba ha consistido en un movimiento de caminar en círculo alrededor del área de captura de movimiento.



#### **9.4.8. Caminar y volver.**

Esta prueba ha consistido en un movimiento de caminar, girar 90° y volver.

#### **9.4.9. Salto.**

Esta prueba ha consistido en un salto, únicamente vertical.

#### **9.4.10. Boxeo.**

Esta prueba ha consistido en efectuar una serie de puñetazos, es decir, extendiendo ambos brazos hacia el frente y recogiendo hacia el cuerpo, rápidamente.

#### **9.4.11. Correr.**

Esta prueba ha consistido en un movimiento de carrera, desplazándose el sujeto unos 10 metros en línea recta.

#### **9.4.12. Correr y girar 90° a la derecha.**

Esta prueba ha consistido en un movimiento de carrera como en la prueba anterior, pero llegado a cierto punto el sujeto realiza un giro a la derecha.

#### **9.4.13. Correr y girar 90° a la izquierda.**

Esta prueba ha consistido en un movimiento de carrera como en la prueba anterior, pero llegado a cierto punto el sujeto realiza un giro a la izquierda.

#### **9.4.14. Correr y parar en seco.**

Esta prueba ha consistido en un movimiento de carrera como en la prueba anterior, pero llegado a cierto punto el sujeto realiza una parada en seco.

#### **9.4.15. Correr y saltar.**

Esta prueba ha consistido en un movimiento de carrera como en la prueba anterior, pero llegado a cierto punto el sujeto realiza un salto hacia adelante.

#### **9.4.16. Movimientos de árbitro.**

Esta prueba ha consistido en realizar una serie de movimientos similares a los que realiza un árbitro de baloncesto a lo largo de un partido.

## 10. Procesado de los datos.

Antes de empezar es muy importante saber identificar los archivos que nos da el software. En nuestro caso la empresa OptiTrack trabaja con el software Arena. Este software arroja datos en un formato propio, a continuación se muestra una tabla con los diferentes tipos de archivos.

<b>.pt2</b>	Este archivo es el resultado de la captura de los marcadores en un espacio virtual, pero sin ningún tipo de relación entre cada uno de los marcadores.
<b>.pt3</b>	Este archivo es el resultado de la captura de los marcadores en un espacio virtual, pero con relación entre cada uno de los marcadores, creando cuerpos rígidos. Permite la trayectorización en archivos 2D y su exportación en .txt.
<b>.cal</b>	Son archivos de calibración que recogen el resultado del wandring previo del espacio de captura. Estos archivos son útiles siempre y cuando las condiciones luminosas y posición de las cámaras sean las mismas, en caso contrario estos datos no son prácticos.
<b>.rgb</b>	Este es el resultado de la creación de un cuerpo rígido, este archivo asigna un volumen tridimensional a unos marcadores concretos. Cada vez que se introduzca unos marcadores en la misma posición lo detectara como un cuerpo rígido.
<b>.skl</b>	Al igual que en los archivos.rgb asigna unos marcadores como sólidos. En este caso el conjunto de cuerpos sólidos crea un muñeco de cuerpo entero.
<b>.x</b>	Es el archivo que permite meter figuras en el campo tridimensional. Un equívalete sería un archivo STL en entornos CAD.
<b>.bvh</b>	Son los archivos que pueden ser importados desde un Excel o un bloc de notas. Es un archivo parecido a un .txt.

Los archivos una vez tomados los datos tienen que ser asignados a un cuerpo rígido, este archivo puede ser exportado, por lo tanto puedes crear un objeto en tres dimensiones y

posteriormente introducirlo en el entorno de la captura de movimiento.

Una vez está asignado el cuerpo rígido el archivo se puede exportar en un archivo que se puede abrir con un bloc de notas.

```

takel: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
HIERARCHY
ROOT root
{
    OFFSET 0 0 0
    CHANNELS 6 Xposition Yposition Zposition Zrotation Xrotation Yrotation
}
MOTION
Frames: 2098
Frame Time: 0,01
36,246933 180,963852 27,963448 -146,543732 1,358039 78,596024
36,386803 181,009674 28,01247 -146,349686 1,549778 78,717758
36,539314 181,035446 28,045761 -146,403366 1,613685 78,788574
36,722504 181,081131 28,060711 -146,263397 1,677929 78,820847
36,854538 181,105392 28,095081 -146,201035 2,02064 79,256927
36,854538 181,105392 28,095081 -146,201019 2,020613 79,25692
37,019424 181,120621 28,119308 -146,25235 2,064762 79,450691
37,153225 181,148819 28,115875 -146,294571 2,007969 79,651878
37,329224 181,159882 28,128666 -146,278564 2,229684 79,829346
37,47493 181,17511 28,163832 -146,37175 2,346179 80,179207
37,646816 181,185669 28,162872 -146,392181 2,273237 80,364761
37,81908 181,222916 28,191751 -146,456146 2,57188 80,590576
38,022949 181,260254 28,189129 -146,520844 2,647081 80,676575
38,205883 181,276947 28,197538 -146,293701 2,736751 80,729973
38,395782 181,311401 28,200695 -146,384674 3,037831 81,016838
38,587608 181,333374 28,170622 -146,42337 3,049876 81,228844
39,051418 181,367493 28,151215 -146,53627 3,01826 81,23716
39,232922 181,400012 28,150722 -146,350444 3,131208 81,041273
    
```

**58 . Bloc de notas con archivos de captura de movimiento.**

Como se puede apreciar en la imagen anterior los archivos tienen un encabezamiento donde indican la cantidad de frames que se han tomado en la captura, además del tiempo de refresco entre cada uno de las capturas.

```

MOTION
Frames: 2098
Frame Time: 0,01
36,246933 180,963852 27,963448
36,386803 181,009674 28,01247
36,539314 181,035446 28,045761
36,722504 181,081131 28,060711
    
```

**59 . Frames y tiempo entre Frames (s).**

El resto de datos arrojados por la maquina es la posición y giros del cuerpo rígido que hayamos introducido. En caso de haber más de un cuerpo rígido indicaran cada uno por separado solo indicando los datos del origen del cuerpo, no de cada uno de los marcadores. Este dato es muy importante ya que la colocación del origen del cuerpo rígido en el entorno virtual de Arena es el único punto del que tendremos información de captura. Este mecanismo parece rudimentario, ya que sería más

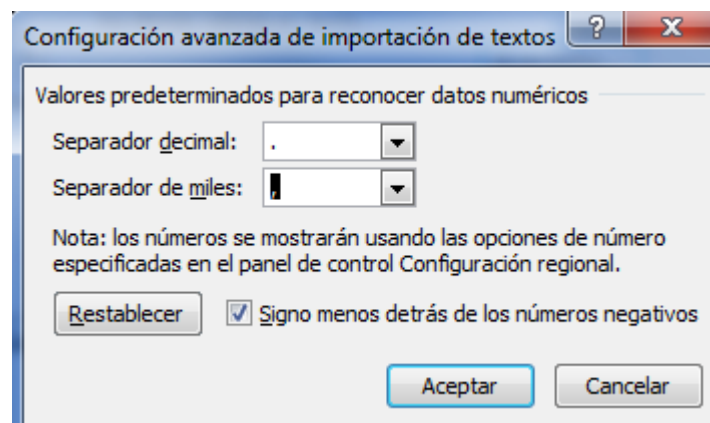
rentable que indicase la posición de cada uno de los marcadores, esto es imposible, ya que con un solo marcador no puedes obtener información sobre giros. Este efecto también se produce con una mala colocación de los marcadores, ya que si son colocados linealmente produce fallos incluso en el momento de tomar los datos, por lo tanto es muy importante la triangulación de los marcadores.

## 10.1. Procesado de datos.

Hay múltiples formas de procesar los datos obtenidos de las captura de pantalla. En el presente trabajo se utilizaran dos formas, mediante una hoja de cálculo de Excel y con el propio software de Arena. En ambos métodos los resultados son prácticamente los mismos, pudiendo ver los resultados de forma gráfica.

### 10.1.1. Procesado mediante hoja Excel.

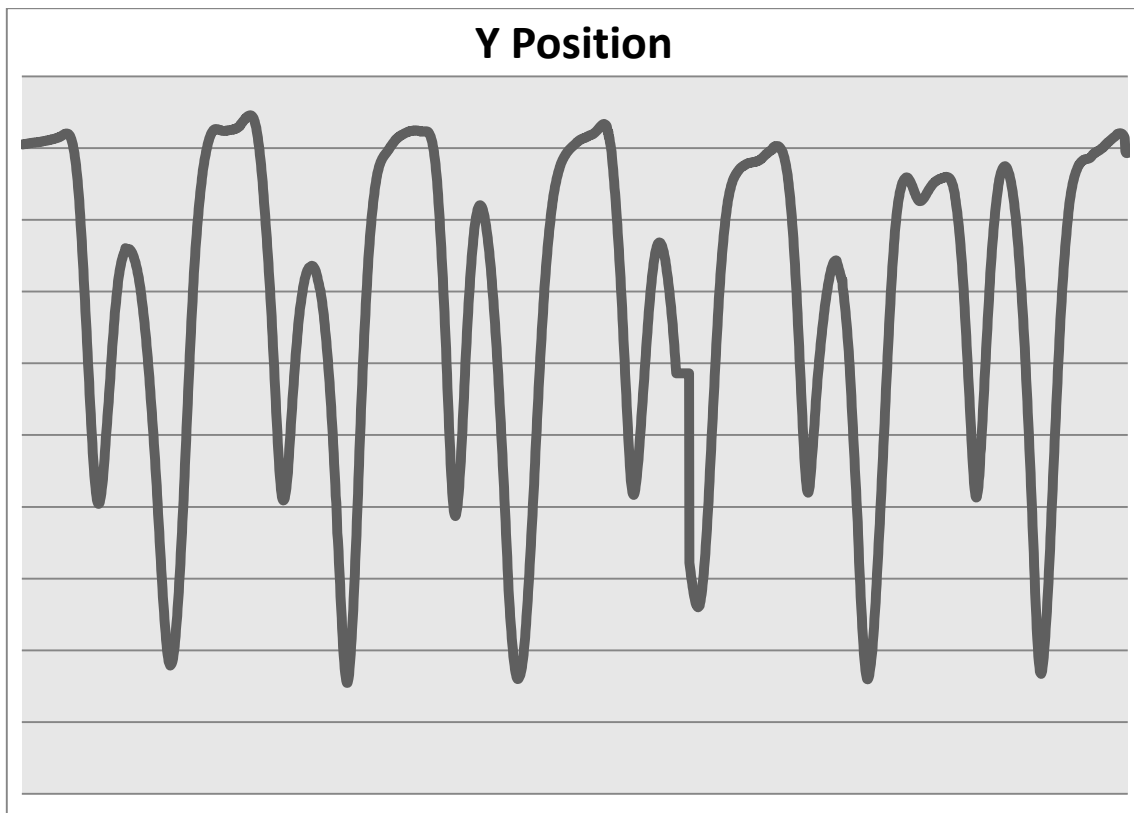
Con la herramienta de Microsoft office, Excel, nos permite importar los archivos resultantes del software Arena. A la hora de ser exportados es muy importante indicar que las tabulaciones y los espacios indicar un cambio de dato para poder separar correctamente los datos en filas y columnas. También hay que indicar que los valores de los decimales están separados por comas y no por puntos.



60. Cuadro de configuración avanzada de importación de textos.

De esta forma se puede exportar a cualquier programa en formato ACII o TXT. En las imágenes siguientes podemos apreciar una

representación gráfica de los datos obtenidos en una prueba de bateo.



En la gráfica anterior podemos apreciar los movimientos del cuerpo rígido en el eje Y. En este caso de un bate de béisbol al realizar la trayectoria de bateo.

#### 10.1.2. Procesado mediante Arena.

El software de arena permite la visualización directa de la captura, tanto de los cuerpos rígidos como del esqueleto. Estos datos directamente están dispuestos en graficas que indican el desplazamiento en los diferentes ejes, de cada uno de los marcadores. Todo esto acompañado de una representación gráfica que puede ser pausada y ralentizada. Esto permite un estudio más intuitivo de los datos.

Para realizar el estudio mediante Arena en primer lugar hay que asignar a un cuerpo rígido y trayectorizar. Una vez tengamos estos dos pasos previos se podrá analizar cada uno de los marcadores con el software.



### 61 . Captura de pantalla en edición con Arena

La imagen anterior muestra el entorno de edición que tiene el software. En la parte inferior de la imagen tenemos la gráfica, se puede indicar que marcadores son los que quieres que aparezcan en la gráfica e incluso indicar que ejes quieres que sean representados. A su vez también pueden ser modificadas la graficas en el propio programa, ya que estas muchas veces presentan huecos en blanco debido a la perdida de marcadores en la captura.

## 11. Aplicación Industrial: Calibración.

El sistema de captura de movimiento puede ser utilizado para infinidad de aplicaciones, en numerosos campos como la medicina, el deporte, la industria, el cine, etc. Nos centraremos en una aplicación industrial, como es la calibración de una máquina herramienta. Para ello se utilizará un disco que gira sobre un eje. El giro de dicho disco deberá ser calibrado, buscando una alineación lo más perfecta posible.

Para llevar a cabo este proceso hemos posicionado marcadores triangulados en un disco que gira sobre un eje. De esta forma podemos discretizar las desviaciones del giro. El disco debería girar de forma paralela al eje Z, todo desplazamiento en este eje será un fallo de alineado, por lo tanto se deberá corregir.

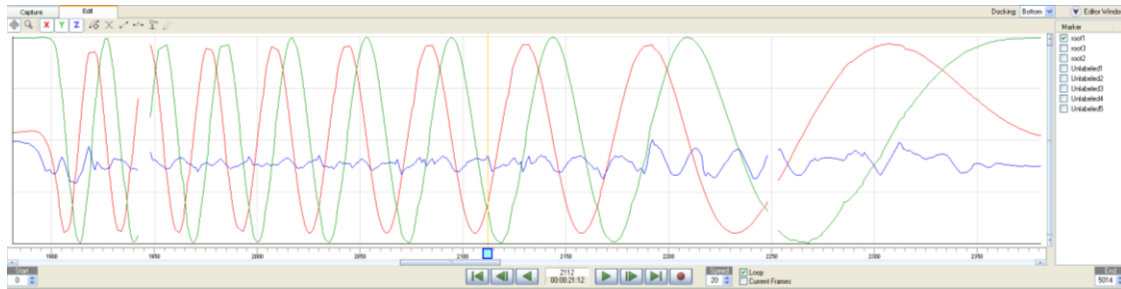


62. Disco con marcadores

Con los datos obtenidos por el sistema mocap del giro del disco, podemos apreciar los desplazamientos o vibraciones que tiene sobre su eje. Esto nos permite saber si está realmente bien alineado. Tal y como se había comentado anteriormente se apreciará la desviación que se produce en el giro mediante la gráfica del movimiento del marcador en el eje Z. El objetivo es conseguir una gráfica lo más "limpia" posible, es decir, lo más cercana al movimiento perfecto del eje. Para ello se ha trabajado en conseguir que el disco gire de forma correcta en el eje, sin desviaciones en su movimiento. Este proceso se realizará para cualquier máquina herramienta que se desee calibrar cuando se encuentre en perfecto estado, o lo que es lo mismo, antes de comenzar a funcionar por primera vez o tras una



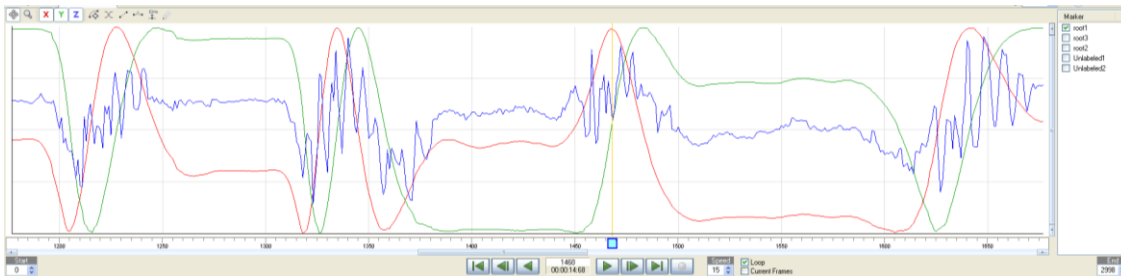
reconstrucción. De esta forma se obtendrá la gráfica referencia para comprobar su correcto funcionamiento a lo largo de la vida útil y determinar cuando sea necesario realizar un reajuste o recalibrado.



### 63. Representación gráfica del giro correcto del disco

Una vez se ha conseguido la gráfica que servirá como modelo del correcto giro del disco (del correcto funcionamiento de la máquina), lo siguiente será determinar un margen de tolerancia para los valores que se han obtenido en los marcadores en los tres ejes, y posteriormente ajustar el movimiento de cualquier otro disco o máquina para que su gráfica sea lo más parecida a la gráfica modelo, es decir, se encuentre dentro de los márgenes previamente determinados.

Si se parte de un disco que gira desalineado con el eje, será necesario comprobar qué marcador, y en qué ejes, se produce el desvío con respecto a la gráfica modelo. El software Arena permite que se analicen individualmente los marcadores y los movimientos en los ejes, lo que facilitará las labores de diagnóstico del problema.



### 64. Representación gráfica del giro incorrecto del disco.

En este caso se puede comprobar, mediante uno solo de los marcadores, como el movimiento no es el correcto para ninguno de

los tres ejes, por lo que será necesario ajustar el sistema y realizar las modificaciones necesarias para que este vuelva a girar de forma que su gráfica esté dentro de los márgenes aceptables.

## **12. Futuras aplicaciones.**

Actualmente se encuentran aún en fase de estudio e investigación muchas aplicaciones para la tecnología, desde ideas completamente nuevas hasta aquellas que van más allá de las que existen y se utilizan actualmente. Entre las aplicaciones más interesantes para el futuro se encuentran:

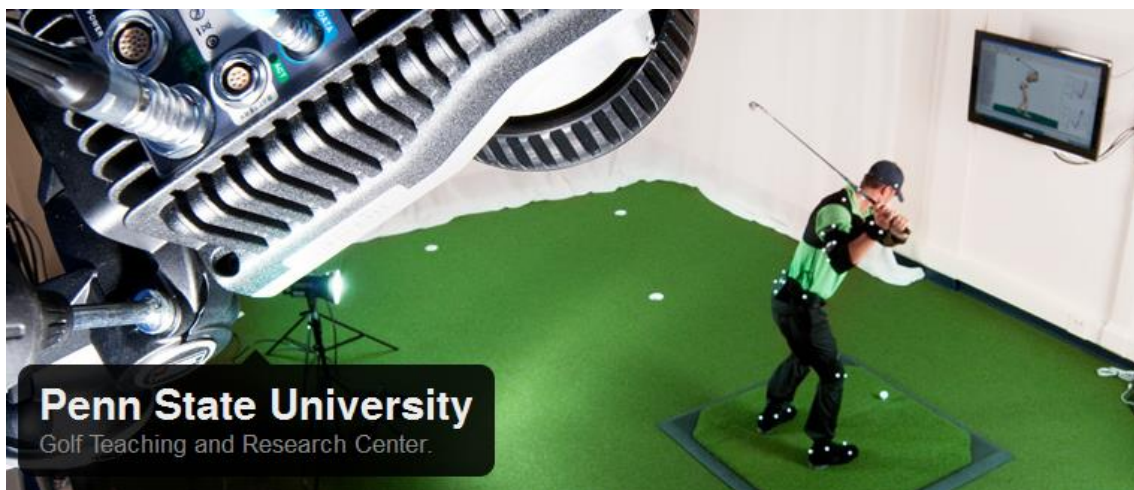
### **12.1. Videojuegos (Realidad Virtual).**

A diferencia de otras aplicaciones de la tecnología de captura de movimiento que ya son una realidad, la realidad virtual aún no ha llegado al público de masas. El concepto de realidad virtual no es algo que haya surgido a partir de la captura de movimiento, pero sí que se puede ver impulsado en gran medida por la aplicación de esta tecnología. Lo que se plantean los desarrolladores es crear entornos completamente virtuales donde el sujeto puede interactuar en tiempo real, a través de la captura de movimiento. Básicamente se crearía un "sujeto virtual" que exista en el entorno virtual y cuyos movimientos y acciones se puedan controlar completamente a través de esta tecnología.

### **12.2. Biomecánica (Deportes).**

Se busca estudiar qué tipo de posturas y movimientos son los que benefician y perjudican al atleta o deportista, con el fin de corregir o eliminar movimientos. La aplicación de la tecnología de captura de movimiento permite dotar a estas investigaciones de una serie de recursos y datos que sería casi imposible obtener de otro modo. Analizando un video se puede observar con cierta precisión una parte del cuerpo concreta, y desde uno o dos puntos de vista. Utilizando captura de movimiento, se puede analizar cualquier parte del cuerpo que se desee, desde infinitos puntos de vista y no sólo de forma visual, sino a través de datos y gráficos altamente precisos que permiten facilitar mucho la tarea. Además permite no sólo analizar un sujeto, sino cualquier objeto con el que este tenga que realizar una acción, como un bate de baseball, una raqueta de tenis o un palo de golf. La universidad de Penn State se encuentra en fase de desarrollo de una tecnología que permite enseñar y mejorar la

técnica de juego de golf. Además del sistema de 8 cámaras de captura óptica de movimiento, el Centro de Enseñanza e Investigación de Golf (GTRC por sus siglas en inglés) plantea utilizar un radar Doppler, que permita predecir la trayectoria y distancia que seguiría la bola, un green y resto del equipamiento necesario para la práctica de golf, como es el caso de los palos. Tratándose de un centro indoor, su utilización es posible durante todo el año. Cabe mencionar que el GTRC no sólo se plantea como una herramienta de enseñanza, sino como un centro que lleve a cabo investigaciones relevantes para la mejora del rendimiento de los jugadores tanto profesionales como amateurs, así como el perfeccionamiento de la técnica de juego y la reducción de lesiones en los jugadores.



65. Clases de golf con mocap (<http://goo.gl/YuQm78>).

### 12.3. Control Industrial.

Mediante la tecnología de captura de movimiento se puede realizar el control del desempeño de máquinas y sistemas industriales, de forma que se pueda detectar inmediatamente cuando se está produciendo un fallo en el proceso llevado a cabo por esta. Esta tecnología permitiría reducir mucho el tiempo de realización de pruebas, pues con un simple análisis se determinaría el patrón de "comportamiento" normal de la máquina y se controlaría cuando se desvía de dicho patrón, y el grado en el que lo hace, lo cual resultaría muy útil cuando se trata de analizar máquinas herramientas, como brazos robóticos, sistemas de mecanizado totalmente automáticos y otros sistemas equivalentes, o en mayor escala en grúas de construcción o en puertos marítimos.



66 . Control puente grúa (<http://goo.gl/9U5jLn>)

#### 12.4. Bajo el agua.

Con un sistema de cámaras lo suficientemente preparado y en el entorno adecuado, se podría realizar la captura de movimiento bajo el agua de la misma manera en que se realiza al aire libre. De esta forma se podría controlar de una forma mucho más precisa cualquier prueba que se realice bajo el agua, ya sea la prueba del prototipo de un submarino, como la integración de cualquier tipo de maquinaria subacuática. La tecnología incluso podría ser capaz de detectar el movimiento del agua, obteniéndose con esto datos muy precisos del efecto del oleaje por ejemplo en las anteriores pruebas.

#### 12.5. Sobre el agua.

Estudiar el comportamiento de una plataforma petrolera, un barco e incluso una tabla de surf, frente a vientos, oleaje, mareas y demás, sería muchísimo más preciso y completo con un sistema de captura de movimiento, que permitiese obtener datos detallados de tantos puntos como se desee y en las condiciones que sean. Sustituyendo caros y complejos potenciómetros, acelerómetros y giroscopios por simples marcadores se tendrían muchos más datos sobre el efecto que causan las condiciones sobre el elemento o conjunto de estos que se estudie, permitiendo así simplificar el proceso, y ahorrar tanto tiempo como dinero para estas pruebas, aumentando incluso la calidad de los datos obtenidos, pues el

elemento no se encontraría afectado por el peso de los aparatos de medición. Esto incluso abriría una vía para probar modelos muy ligeros con esta tecnología.

## 12.6. Aerodinámica.

Utilizando marcadores se puede perfectamente obtener simulaciones en 3d del comportamiento de un ala de avión o el alerón de un coche de carreras sin tener que recurrir a los complejos sistemas de medición mencionados anteriormente. De esta forma no se vería afectado el propio comportamiento del elemento a estudiar y se obtendría una serie de datos más realista que nunca, pudiéndose estudiar las vibraciones, integridad estructural, comportamiento aeroelástico del elemento. En el mundo del ciclismo, concretamente en el de la competición de alto nivel también se ha comenzado a experimentar con los sistemas de captura de movimiento, como adición a los túneles de viento, con el fin de analizar no sólo el comportamiento y desempeño de la bicicleta en las condiciones de trabajo, sino del propio ciclista, pues este resulta en una parte fundamental del conjunto.



67 . Ciclista entrenando con marcadores (<http://goo.gl/GFaSux>)



## 12.7. Medicina.

La universidad de Cardiff se encuentra probando la aplicación de la tecnología de captura de movimiento en escáneres MRI. De esta forma se puede llegar a obtener datos del movimiento de dedos o brazos aunque se encuentren por fuera del propio escáner y a la vez dentro del escáner como movimiento de rodillas o tobillos, lo que resulta un salto importante para estas pruebas. La finalidad de esta aplicación es contribuir a la investigación sobre el desplazamiento de las estructuras de soporte de las articulaciones humanas bajo esfuerzos, lo que ayude a entender el efecto que causan dichos esfuerzos en las articulaciones, así como brindar una ayuda en el desarrollo de nuevos métodos de terapia correctiva de dichas enfermedades. Evidentemente, el desarrollo y avance en la tecnología de sistemas de captura de movimiento sin marcadores resulta fundamental para estas aplicaciones, pues el hecho de poder estudiar el comportamiento del cuerpo humano, específicamente de los músculos y articulaciones cuando se realizan esfuerzos de una forma no invasiva representaría un salto importante en el estudio de las enfermedades como la osteoartritis.



68 . Instalaciones mocap centro médico (<http://goo.gl/2snB1b>)

## 12.8. Inteligencia humana e interrogatorios.

Mediante sistemas de captura de movimiento, se pueden mejorar escenarios como las entrevistas e interrogatorios a distancia, el manejo de crisis organizacionales y el entrenamiento del liderazgo. La forma más efectiva de mejorar o enseñar las

habilidades requeridas para estas habilidades es mediante el entrenamiento en casos lo más realistas posibles, donde se hace uso de juegos de rol entre el profesor y el alumno. Mediante captura de movimiento, la experiencia puede ser muy real aunque ambos sujetos se encuentren en lugares muy alejados, pues los movimientos, expresiones faciales y corporales, el movimiento de ojos y el resto de lenguaje corporal pueden ser capturados y representados por un avatar, que interactúe con el sujeto.

## 12.9. Construcción.

La industria de la construcción también puede beneficiarse de la tecnología de captura de movimiento. En el desarrollo de grandes proyectos de arquitectónicos, las visualizaciones y simulaciones virtuales resultarían en una enorme ventaja ante los métodos actuales, mucho más complejos y caros. Construir un prototipo del edificio final en 3d, no sólo permitiría visualizarlo en un entorno de 360 grados, sino estudiar su comportamiento ante fenómenos meteorológicos y esfuerzos mediante la captura de movimiento. El desarrollo de estas aplicaciones ha aumentado constantemente en los últimos años, y muy seguramente seguirá aumentando, pues cada vez se demuestra más útil para la industria.

## 12.10. Sonido y movimiento.

La idea de mezclar el sonido y la captura de movimiento no es una locura. Un sistema de captura de movimiento puede adaptarse para adquirir datos de sonidos a la vez que se realiza la captura de movimiento. De esta forma, con un software específico, existe la posibilidad de sincronizar ambas entradas de datos de forma tal que se pueda estudiar la relación entre la cinemática del movimiento humano y los sonidos musicales, así como en el desarrollo de aplicaciones musicales dependientes del movimiento. El sistema de cámaras Oqus, de la empresa Qualisys, permite recibir una señal de sincronización de hardware en cualquier frecuencia, además de poder sincronizar su propio reloj interno con el de dicho hardware, de forma que los datos que capture queden perfectamente preparados para su estudio con el protocolo Open Sound Control, comúnmente utilizado para la comunicación de aparatos multimedia.



