

Universidad de Chile
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Departamento de Ingeniería Mecánica



Universidad de Chile

Informe pierna protética “Captura de movimiento”

Elaborado por:
Orlando Campos B.

Profesor: Mónica Zamora.

Introducción

Las prótesis son extensiones artificiales que reemplazan o mejoran la función de una parte del cuerpo, ya sea porque esta ha fallado o ha sido extraída. Para el estudio y diseño de una prótesis es necesario hacer diversas investigaciones respecto a los centros instantáneos de movimiento y ángulos que se generan entre distintos puntos del cuerpo, un método efectivo para lograr esto es la Captura de movimiento.

La captura de movimiento, por sus siglas en inglés MOCAP (Motion Capture), es una técnica de grabación de movimiento de personas, animales u objetos para registrarlos y ser llevados a un modelo computacional para su procesamiento.

Para el registro de movimiento se necesitan a lo menos dos cámaras, dado que con más de una cámara es posible detectar la profundidad de un objeto con respecto al eje de su punto de mira.

Para que el movimiento sea detectado por una cámara, es necesario utilizar marcadores corporales, la cámara es sensible a estos marcadores por lo cual entrega a la computadora la posición de cada uno de ellos con respecto a un punto de referencia, de esta manera el movimiento de una persona se puede estudiar como el movimiento de N partículas en el espacio. Las cámaras utilizadas son llamadas Optitrack de la empresa NaturalPoint, estas envían la información detectada al software Motive para su procesamiento.

En el presente informe se mostrará los pasos para la grabación de partículas y el método para procesar los cambios de posiciones vía MATLAB, a fin de poder obtener un gráfico en tres dimensiones de la trayectoria de N partículas solas y unidas por eslabones, con esto poder calcular el ángulo que se va formando entre cada eslabón.

Objetivos

Para poder realizar una investigación de los centros instantáneos de rotación y ángulos entre varios puntos del cuerpo, obtenidos de la caminata de un sujeto normal y grabándola utilizando motive, es necesario contar con un software que facilite la interacción usuario-máquina y entregue sólo la información necesaria.

Para realizar lo anterior se necesita lograr un dominio del software MOTIVE y obtener las coordenadas de movimientos de N partículas, esto permite graficar las trayectorias correspondientes a las N partículas y eslabones entre ellas, una vez obtenidos es posible calcular el ángulo entre eslabones y los centros instantáneos de rotación.

Los objetivos principales son:

- Familiarizarse con el uso del software MOTIVE, para la detección de movimiento de N partículas y obtención de las coordenadas de estas en el espacio.
- Graficar en MATLAB el movimiento de estas partículas, ya sea en forma de trayectoria como en posición respecto al tiempo (en fotogramas).
- Para más de una partícula, crear eslabones entre dos partículas, y realizar el paso anterior con el eslabón.
- Obtener centros instantáneos de rotación y ángulos entre eslabones.
- Creación de un GUI que permita un fácil manejo entre el usuario y el software.

1 Introducción al uso de MOTIVE:

El Software Motive es una herramienta dinámica capaz de procesar y trayectorizar el movimiento de varias partículas en sus tres coordenadas, entregando los recursos necesarios para el modelado y estudio de los movimientos capturados.

Para poder utilizar MOTIVE primero se debe ejecutar el software MOTIVE desde su carpeta de instalación, una vez abierto el programa está listo para capturar el movimiento (imagen 1.1), para esto hay que pulsar el botón rojo REC, de esta manera el software ira guardando el movimiento de las partículas. Si se desea terminar la grabación se pulsa el botón STOP. Una vez hecha la grabación se puede trayectorizar la partícula, esto es, pedirle al programa que entregue en matrices las coordenadas de cada partícula (imagen 1.1.1), se debe hacer click con el botón derecho en (1) y luego seleccionar “Trayectorizar”. Para poder utilizar MATLAB con las matrices es necesario exportar el archivo en formato .csv (imagen 1.1.1), se debe hacer click con el botón derecho en (1) y luego seleccionar “Exportar”. Realizados estos pasos se deja de utilizar el software MOTIVE para trabajar con los resultados en MATLAB.

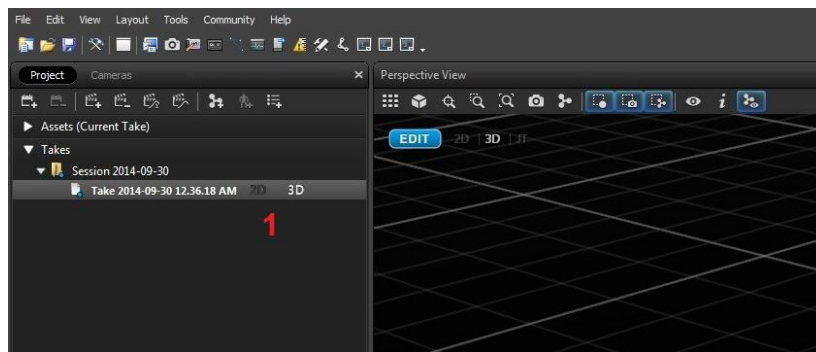


Imagen 1.1 : Método para trayectorizar.

Errores y opciones avanzadas en MOTIVE:

Es frecuente que existan ciertos errores en el programa al momento de detectar objetos, el problema más común es la incapacidad de detectar marcadores de gran tamaño, por lo cual es preferible que los marcadores sean pequeños, menores a 1 cm², los cuales son detectados sin dificultad.

Puede ocurrir que en mitad de grabación alguna partícula “parpadee” en el monitor, esto es una alerta de que la cámara no detectó el movimiento de esa partícula por un instante, cuando ocurre esto es posible continuar grabando. Una vez finalizada la grabación se debe trayectorizar, en la ventana de “Take” (imagen 1.2.2) donde se muestran las trayectorias de todas las partículas, cuando una partícula “pestañea” el programa asume que esa partícula desapareció y que en su lugar se agregó una nueva, por lo tanto si tuviéramos tres partículas en una grabación y una de ella parpadeó una vez, al trayectorizar el programa nos lanzará cuatro trayectorias, donde la trayectoria extra corresponde al movimiento de la partícula después del “pestañeo”. Para

solucionar esto basta tomar la trayectoria extra y colocarla encima de la trayectoria inicial, MOTIVE unirá las dos trayectorias, luego el archivo puede ser exportado normalmente.

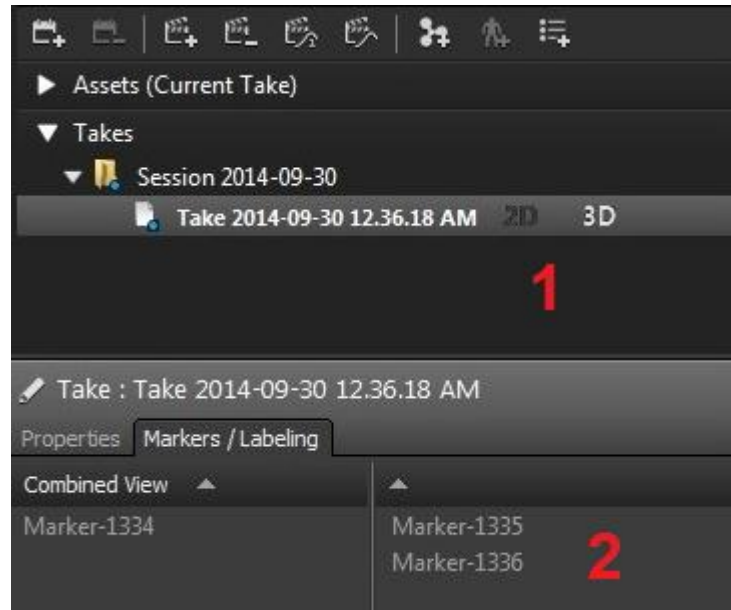


Imagen 1.2: Sección para unir dos trayectorias.

Las cámaras son sensibles a la luz, ambientes con luz artificial son más adecuados que con luz natural, la luz de los tubos fluorescentes también tiende a causar “parpadeos” al momento de grabar. Se puede solucionar esto ajustando los parámetros EXP, THR y LED (imagen 1.3)

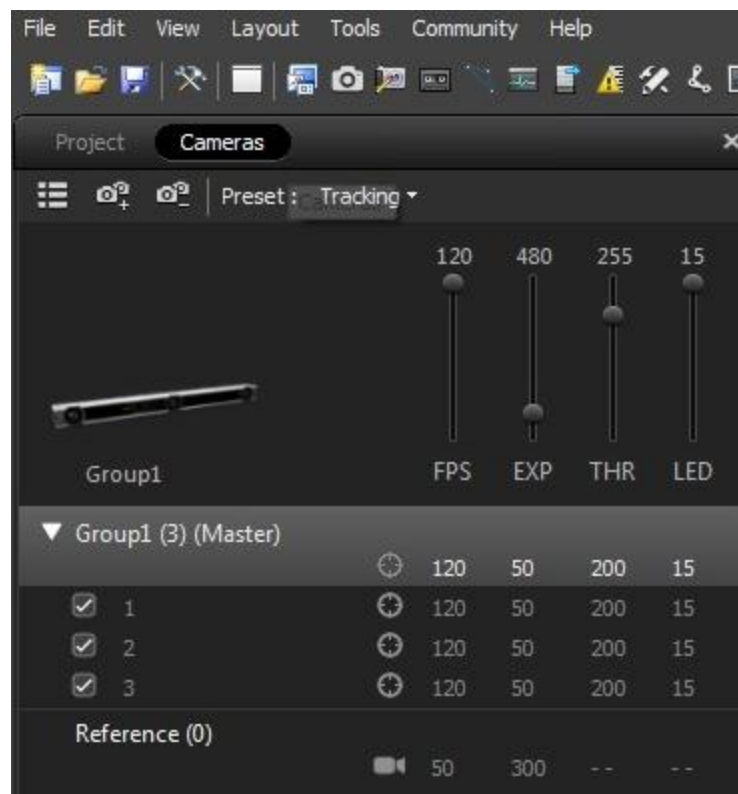


Imagen 1.3: Ajustes de la cámara.

2 Resultados

2.1 Una partícula

Realizando los pasos nombrados en la introducción a el uso de MOTIVE, se trayectorizó el movimiento de una partícula, se exporta a MATLAB una matriz de 3 x N, donde N corresponde a la cantidad de fotogramas tomados en la grabación. Si la matriz la guardamos en un objeto, como ejemplo M, entonces para graficar su trayectoria en MATLAB se invoca la función plot3, en este caso sería:

$$\text{plot3}(M(:,1),M(:,2),M(:,3))$$

Función 2.1

Donde $M(:,i)$ corresponde a la i columna de la matriz.

Los resultados de un movimiento aleatorio de una partícula se muestran en la imagen 2.1.

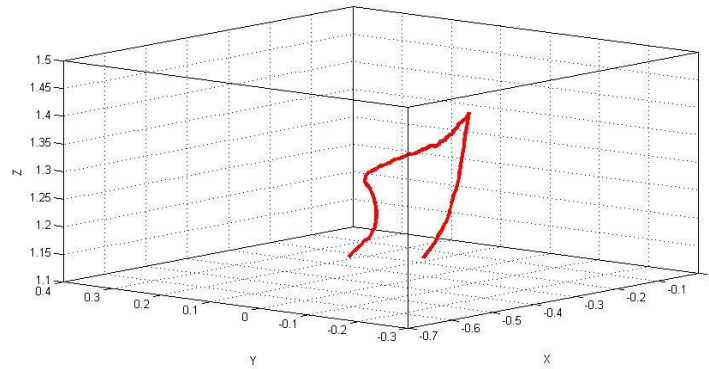


Imagen 2.1: Trayectoria de una partícula.

Si se desea graficar la posición de una partícula con respecto al tiempo (en fotogramas) basta utilizar la siguiente función:

```
for i=1:length(M)
    X=M(i,1);
    Y=M(i,2);
    Z=M(i,3);
    plot3(X,Y,Z,'k-x')
    pause(0.001)
end
```

Función 2.2: Función para graficar la posición con respecto al tiempo $r(t)$.

En resumen, si se desea ver en conjunto la trayectoria y la posición de la partículas con respecto al tiempo se debe llamar a “hold on” antes de la función 2.1 y 2.2 y luego ejecutar el programa.

2.2 Dos partículas (un eslabón)

En esta sección se midieron dos marcadores unidos a una barra, por lo tanto la distancia entre estos es siempre la misma. Ahora se tienen dos matrices, M1 y M2, utilizando el procedimiento de 2.1 se escribe la siguiente función:

```
hold on
plot3(M1(:,1),M1(:,2),M1(:,3));
plot3(M2(:,1),M2(:,2),M2(:,3));
for i=1:length(M1)
X1=M1(i,1);
Y1=M1(i,2);
Z1=M1(i,3);
X2=M2(i,1);
Y2=M2(i,2);
Z2=M2(i,3);
plot3(X1,Y1,Z1,'k-x')
plot3(X2,Y2,Z2,'k-x')
pause(0.001)
end
```

Función 2.3: Función para graficar la trayectoria de dos partículas.

El resultado es la gráfica de la trayectoria de dos partículas, se puede apreciar en la Imagen 2.2 que la distancia entre los puntos no varía.

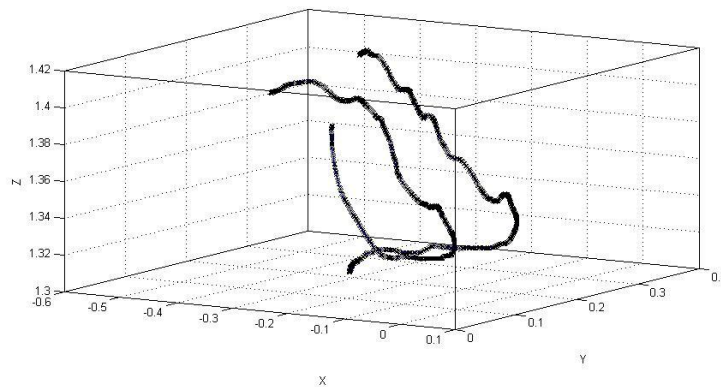


Imagen 2.2: Gráfico de la trayectoria de dos partículas.

Para poder dibujar la trayectoria del eslabón que une los dos puntos se debe invocar la siguiente función:

```
hold on
plot3(M1(:,1),M1(:,2),M1(:,3));
plot3(M2(:,1),M2(:,2),M2(:,3));
for i=1:length(M1)
X1=M1(i,1);
Y1=M1(i,2);
Z1=M1(i,3);
X2=M2(i,1);
Y2=M2(i,2);
Z2=M2(i,3);
X=[X1 X2];
```

```

Y=[Y1 Y2];
Z=[Z1 Z2];
plot3(X,Y,Z,'k-x','LineWidth',2)
xlim([-0.7 0.1])
ylim([-0.2 0.5])
zlim([1.2,1.6])
pause(0.001)
end

```

Función 2.4: Función para graficar la trayectoria de un eslabón que une dos partículas

Si se une un eslabón entre los dos puntos tendría que surgir una imagen similar a una cinta, como se muestra en la Imagen 2.3

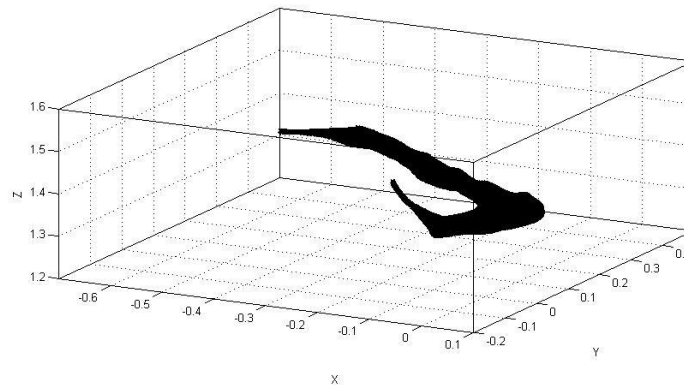


Imagen 2.3: Grafico de la trayectoria del eslabón.

Es de interés ver la posición a través del tiempo del eslabón, y no la trayectoria de la barra completa, por lo tanto si se escriben las líneas de código de la función 2.5 sobre la Función 2.4 se puede visualizar el movimiento del eslabón a través del tiempo como en la imagen 2.4, esto es debido a que la posición anterior es borrada cuando se dibuja la nueva posición, dado la sensación de movimiento.

```

clear all;
close all;
clc;

```

Función 2.5: Función que permite visualizar el eslabón en movimiento.

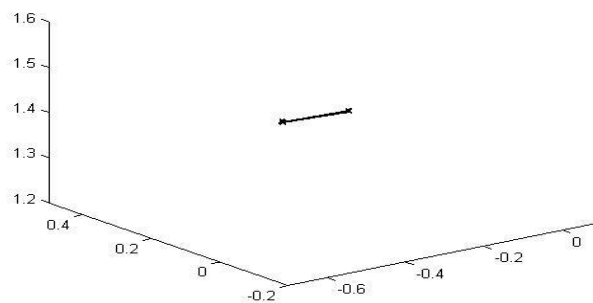


Imagen 2.4: Un fotograma del movimiento del eslabón.

Con esto obtenemos finalmente el movimiento de la barra tal cual como se movió frente a las cámaras Optitrack.

2.3 Tres partículas, dos eslabones unidos con un ángulo variable en el tiempo

El siguiente experimento contempla tres marcadores en un brazo, uno unido a la muñeca (marcador 1), otro unido al codo (marcador 2) y otro unido en el brazo, sobre el codo (marcador 3), como se muestra en la imagen 2.5.

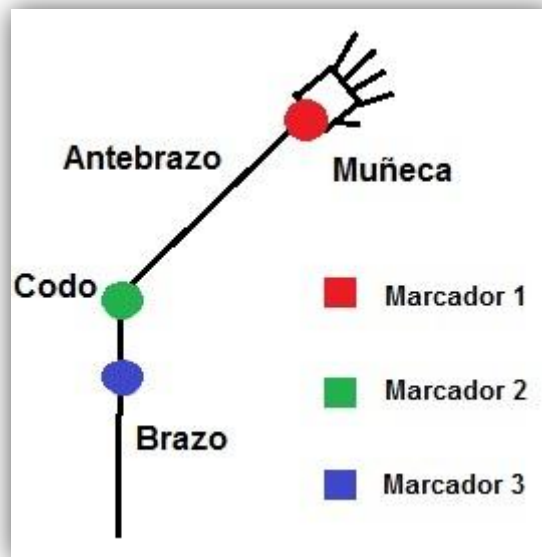


Imagen 2.5: Referencia de las posiciones de los marcadores en el brazo.

Al ser tres marcadores se importa una matriz de $N \times 9$, llamada matriz M , la cual se subdivide en tres matrices; $M1$ (marcador 1), $M2$ (marcador 2) y $M3$ (marcador 3). Utilizar este método permite ahorrar tiempo, dado que si no se utiliza, cuando se tengan T marcadores, habrá que crear T objetos, donde cada objeto será una matriz de $N \times 3$.

Para realizar lo anteriormente mencionado se utiliza la siguiente función:

```
M;  
M1=M(:,1:3);  
M2=M(:,4:6);  
M3=M(:,7:9);
```

Función 2.6: Código para dividir la matriz total en tres matrices, cada una representa un marcador.

Para este experimento el brazo se movió de forma perpendicular a las cámaras, realizando la siguiente trayectoria mostrada en la Imagen 2.6

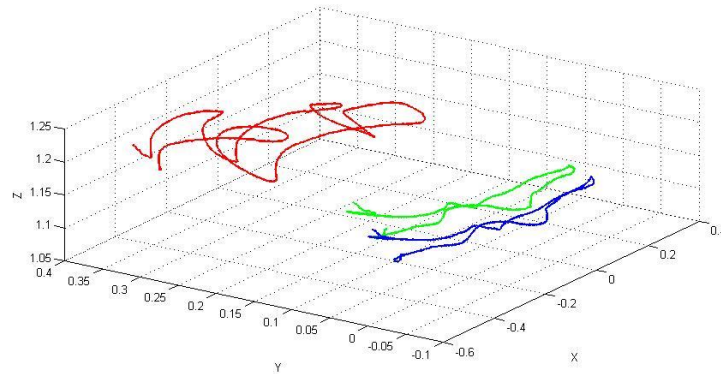


Imagen 2.6: Trayectoria de movimiento de los tres marcadores, los colores corresponden a la Imagen 2.5

El movimiento realizado fue rotar lo menos posible el brazo y el codo y moverlos juntos, de forma recta hacia la derecha (eje positivo x), mientras que el antebrazo se extendía completamente (cerca de los 180° con respecto al brazo) y luego se cerraba (cerca de los 75° con respecto al brazo) intermitentemente, el movimiento se hizo de ida y de vuelta.

Para poder realizar el gráfico se escribe el siguiente programa:

```
plot3(M1(:,1),M1(:,2),M1(:,3),'red');
plot3(M2(:,1),M2(:,2),M2(:,3),'green');
plot3(M3(:,1),M3(:,2),M3(:,3),'blue');
```

Función 2.7: Código para graficar la trayectoria de los tres marcadores.

En esta ocasión no se mostrará la trayectoria que siguen los eslabones, puesto que se superponen y no se contempla una imagen clara. Para poder ver el movimiento de los dos eslabones y obtener el ángulo entre ellos se escribe el siguiente código:

```
%se inicializan las variables para el calculo de ángulos
M11=M2-M1;
M22=M2-M3;
ANGULOS=zeros(length(M1),1);

for i=1:length(M1)

    %%%calculo de cada ángulo
    producto_Escalar=sum(M11(i,:).*M22(i,:));
    producto_Modulos=sqrt(sum(M11(i,:).*M11(i,:)))*sqrt(sum(M22(i,:).*M22(i,:)));
    ANGULOS(i)=acosd(producto_Escalar/producto_Modulos);
    %%%fin calculo de ángulo, se guarda en el vector
```

Angulos

```
X1=M1(i,1);Y1=M1(i,2);Z1=M1(i,3);
X2=M2(i,1);Y2=M2(i,2);Z2=M2(i,3);
X3=M3(i,1);Y3=M3(i,2);Z3=M3(i,3);

X=[X1 X3 X2];
Y=[Y1 Y3 Y2];
Z=[Z1 Z3 Z2];

plot3(X,Y,Z,'k-x','LineWidth',2)
%view(-66,82);
view(-32,90);
xlim([-0.5 0.4])
ylim([-1 1.4])
zlim([-0.2,1.4])
pause(0.0001)

end
%%%Grafico del ángulo vs los fotogramas

plot(linspace(1,length(M),length(M)),ANGULOS)^1
title('Angulo vs Fotograma');
xlabel('Fotograma');
ylabel('Angulo (°)');
```

Función 2.8: Código para animar el movimiento de los eslabones y graficar el Angulo vs los fotogramas entre los eslabones.

El procedimiento para simular la escena es el mismo que para dos partículas, para calcular el ángulo se sabe que el producto escalar de dos vectores, dividido en el producto de sus módulos es igual al coseno del ángulo que hay entre ellos. Motive nos entrega los vectores que hay desde el origen hasta la posición de cada marcador, pero se necesitan los vectores entre los marcadores, por lo tanto el vector que hay del marcador 2 al marcador 1 es $M11=M2-M1$ y el vector que va desde el marcador 2 al marcador 3 es $M22=M2-M3$, con esto aplicado a lo mencionado anteriormente se obtiene el coseno del Angulo entre los dos vectores, solo falta llamar la función inversa del coseno definida en MATLAB como acosd^2 . Un fotograma del eslabón en movimiento se puede ver en la Tabla 2.1, y el ángulo entre los eslabones en la imagen 2.7.

¹ $\text{linspace}(1, \text{length}(M), \text{length}(M))$ es una matriz de que va desde el 1 al N, donde N corresponde al largo de la matriz M, representa los números de los fotogramas.

² Acosd es Arcoseno en grados, Acos es Arcoseno en radianes.

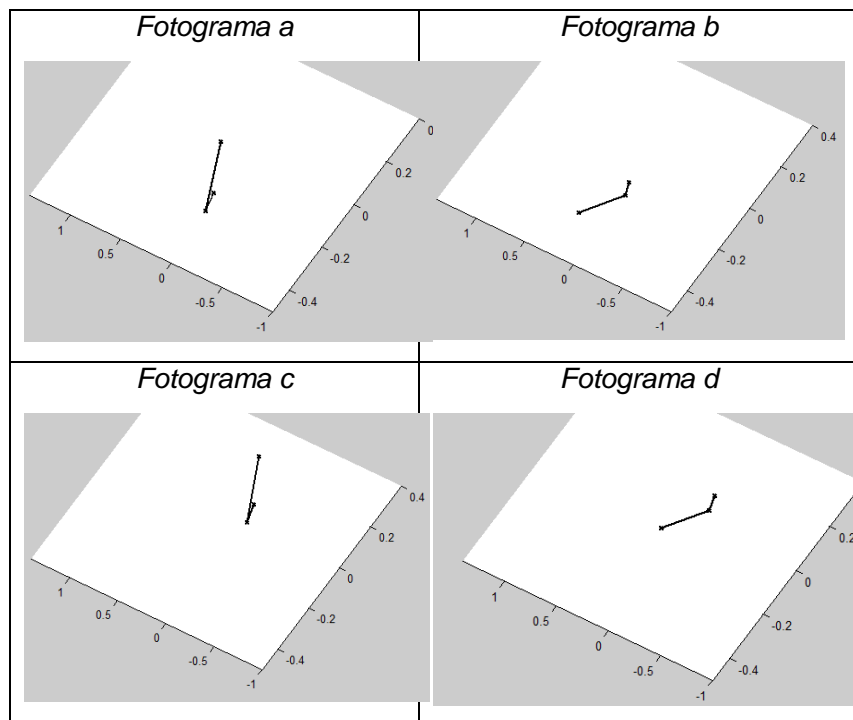


Tabla 2.1: Fotografías de los eslabones avanzando en dirección positiva del eje X, en los fotogramas; $a < b < c < d$.

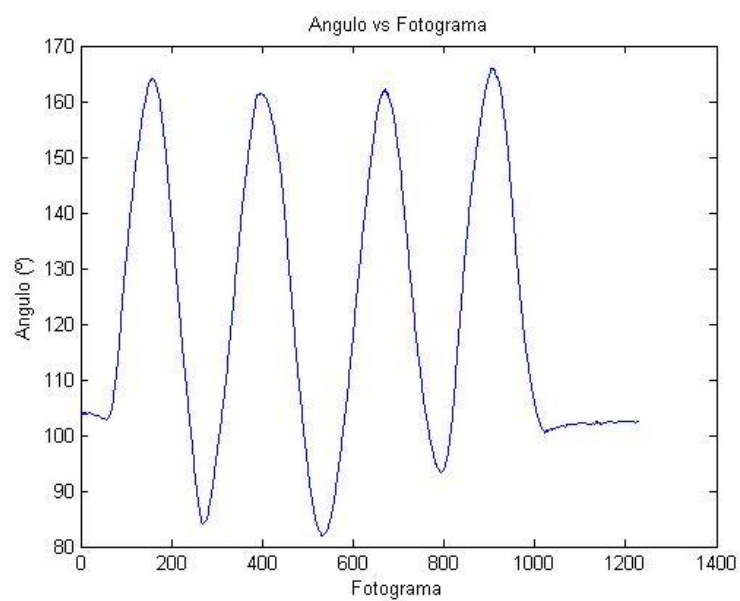


Imagen 2.7: Angulo entre los eslabones respecto a los fotogramas, el inicio de la grabación comienza con el antebrazo a 90° del brazo.

Conclusiones

Motive permite obtener resultados rápidos gracias a la facilidad de manejo y exportación de datos, los esencial entregado por este software son las coordenadas de las posiciones de cada marcador, una vez obtenidas se puede realizar cualquier tipo de trabaja en MATLAB.

MATLAB permite un fácil manejo de matrices logrando realizar una gran variedad de simulaciones, dentro de la que destaca el reproducir el movimiento realizado frente a las cámaras Optitrack.