

# Laboratorio 2

---

## ANALISIS DE MARCHA

Laboratorio de Biofísica, U.T.P

### 2.1 Objetivos

- Conocer las variables espacio-temporales estandarizadas en el análisis de la marcha, con el fin de diferenciar los biomarcadores que caracterizan una marcha normal de una patológica en humanos.
- Experimentar con dispositivos del mercado que permiten realizar aplicaciones de software con contenido biomédico o simplemente lúdico; orientadas a la creación de nuevas interfaces humano-computador.

### 2.2 Precauciones

- Asegúrese de realizar la práctica en un espacio amplio y despejado para que el participante no se tropiece con algún objeto que lo pueda lastimar.
- El soporte del KINECT cuenta con un mecanismo robótico para su ajuste, **no fuerce la base para hacerla girar**, esto se debe hacer desde el software de configuración.
- Antes de desconectar el cable USB, expulse el dispositivo de manera segura como si se tratara de una memoria de almacenamiento USB.
- Para obtener el mejor rendimiento del KINECT: colóquelo en una superficie estable, donde no sea posible golpearlo ni tropezar con el cable, lejos de la luz solar directa y de cualquier fuente de calor.
- No toque los lentes del KINECT.

### 2.3 Preinforme

- Consulte la orientación y el significado de los tres principales planos anatómicos (Sagital, frontal y transversal) usados en las ciencias biomédicas para el análisis de la marcha.
- Consulte la orientación y el significado de los tres principales ejes del cuerpo usados en el análisis de la marcha humana.
- Después de leer el Fundamento Teórico, justifique la estructura y los miembros de la ecuación 1.

### 2.4 Fundamento Teórico

El análisis de la movilidad del cuerpo humano entrega información funcional de múltiples sistemas orgánicos. Afecciones en el sistema nervioso, óseo y muscular se reflejan en el desempeño motor de un ser vivo: Reducción de los límites naturales del movimiento en sujetos sanos, aparición de movimientos anormales, pérdida de sincronía en el movimiento, etc. De esta manera, la cuantificación de la cinemática del cuerpo humano ha establecido un conjunto de biomarcadores que facilitan el diagnóstico clínico de diferentes patologías relacionadas a la condición motora de un paciente, así como el estudio de la evolución frente a tratamientos y procedimientos de rehabilitación.

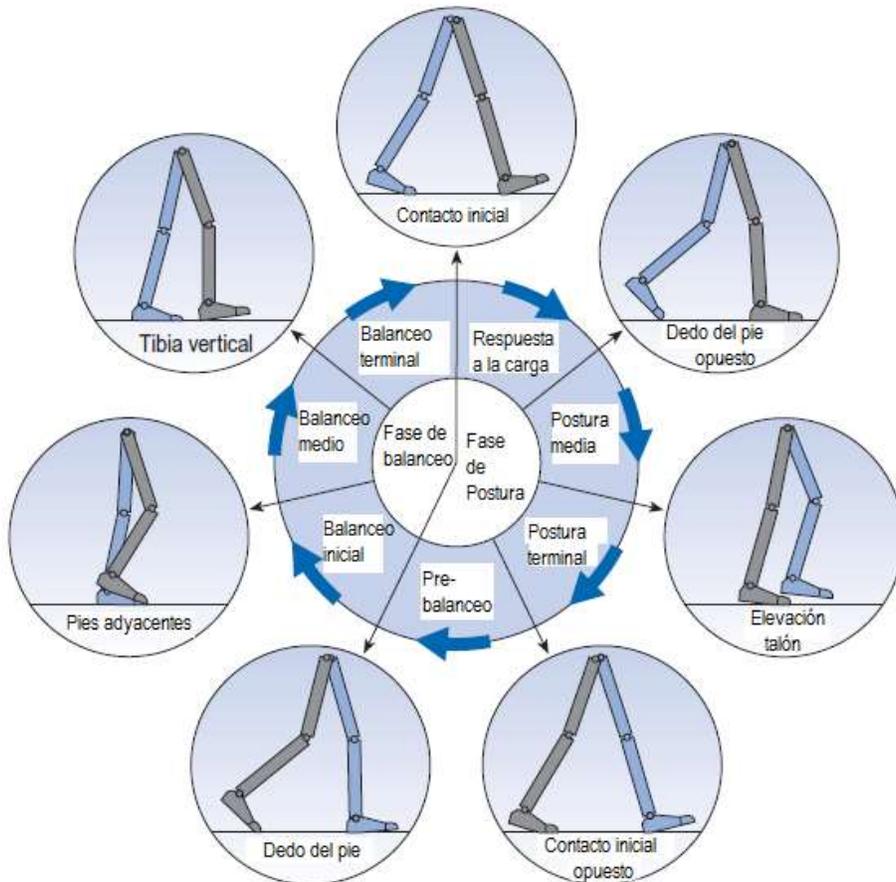
Además del uso clínico, la cuantificación del movimiento del cuerpo humano ha permitido expandir las capacidades físicas de deportistas de alto rendimiento, donde hoy en día es posible entregar la posición exacta de cada segmento del cuerpo con una exactitud milimétrica; sabiendo que por milímetros se puede lograr una ventaja significativa en cualquier evento deportivo.

Es por esto que existe una amplia rama de investigación en el desarrollo de laboratorios especializados en medir el movimiento de cada uno de los segmentos del cuerpo. Sistemas como plataformas de fuerza, cámaras de visión estéreo con marcadores infrarrojos, sensores para la medición de variables cinemáticas como acelerómetros y giroscopios, entregan gran cantidad de información que permite generar amplias bases de datos para la caracterización y clasificación de patrones de movimiento. Hoy en día se consiguen sensores relativamente económicos, portátiles y robustos que permiten instalar un campo para la captura del movimiento en cualquier habitación con un ordenador. Es aquí en donde se expande el abanico de posibilidades; los desarrolladores de software empiezan a tener acceso a estos dispositivos para generar nuevas aplicaciones con nuevas interfaces humano-computador en temáticas que van más allá de las ciencias de la salud.

### **El ciclo de la marcha**

En orden de diagnosticar patologías kinesiológicas, es necesario conocer primero las variables de medición y los rangos de una marcha normal. Las características varían entre sujetos de diferente edad, sexo, incluyendo la diferencia entre la geometría de los cuerpos. El método de locomoción del ser humano usa dos piernas para proveer soporte y propulsión; se debe tener en cuenta que “caminar” requiere que al menos un pie esté en contacto con el suelo, de lo contrario sería “correr”.

La figura 1 divide el ciclo de la marcha en 7 eventos; 4 de los cuales ocurren en la fase de postura o de soporte y 3 en la fase de balanceo:

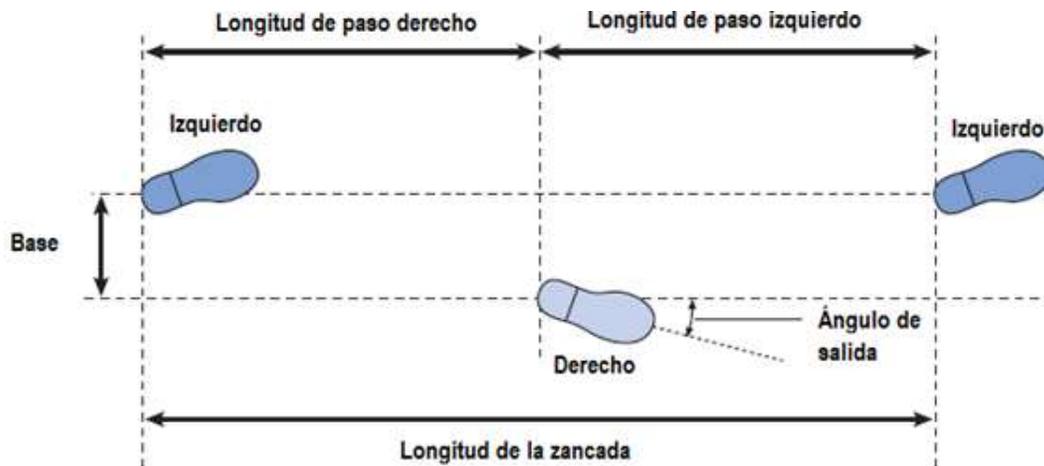


**Figura 1:** Fases y eventos característicos de un ciclo de marcha

El periodo del ciclo completo es conocido como el **tiempo de ciclo** y se divide en el tiempo de postura y el tiempo de balanceo. (La terminología puede variar entre referencias bibliográficas)

El contacto inicial del lado derecho ocurre mientras el pie izquierdo está todavía en el suelo, por lo que se presenta un periodo de “soporte doble” entre el contacto inicial derecho y el despegue del dedo del pie de la izquierda. Durante la fase de balanceo del lado izquierdo, solo el pie derecho está en el suelo, estableciendo un periodo de “soporte derecho individual”, que termina con el contacto inicial del pie izquierdo. El “soporte individual izquierdo” corresponde a la fase de balanceo del lado derecho y el ciclo termina con el próximo contacto inicial del lado derecho.

Se le llama **paso** a la distancia entre los dos pies cuando están en contacto con el suelo; se le llama **zancada** a la distancia avanzada en un ciclo completo de marcha; es decir a la distancia entre la posición inicial de un pie y la distancia final del mismo pie después de un ciclo completo:



**Figura 2:** Definición de paso y de zancada

Así que un ciclo completo se determina por una zancada; y una zancada se forma con un paso del pie derecho y un paso del pie izquierdo.

La **cadencia** (o ritmo) es el número de pasos por unidad de tiempo (generalmente en pasos por minuto). Debido a que un ciclo se compone de dos pasos, el tiempo de ciclo se puede calcular a partir de la cadencia:

$$tiempo\ de\ ciclo\ [s] = \frac{120}{cadencia\ [pasos/min]} \quad (1)$$

Observe que al usar el factor 120, el tiempo de ciclo se obtiene en segundos. La rapidez de caminata es la distancia cubierta por el cuerpo entero en un tiempo dado. La rapidez puede ser calculada de la siguiente manera:

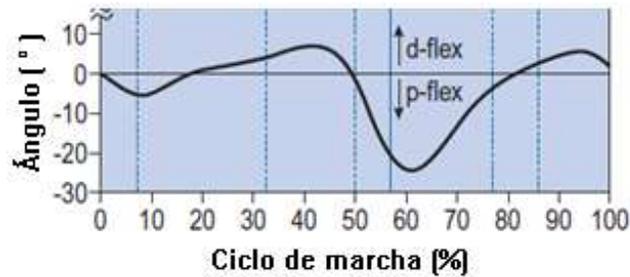
$$rapidez\ [m/s] = \frac{longitud\ zancada\ [m] \times cadencia[pasos/min]}{120} \quad (2)$$

$$rapidez\ [m/s] = \frac{longitud\ zancada\ [m]}{tiempo\ de\ ciclo\ [s]} \quad (3)$$

De las dos ecuaciones anteriores se puede ver que la rapidez de la marcha depende de la longitud de los dos pasos, que a la vez dependen de la duración de las fases de postura y balanceo de cada lado.

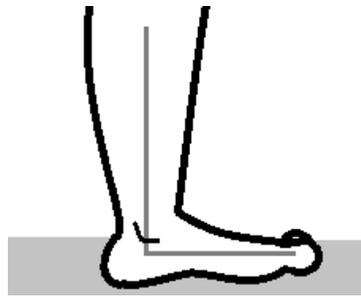
Adicionalmente, al analizar la marcha, es posible cuantificar la posición de cada uno de los segmentos del cuerpo en todo instante de tiempo. Coordenadas tridimensionales y ángulos de las articulaciones permiten evaluar la interacción entre los segmentos del cuerpo y la coordinación del movimiento; además es posible medir el esfuerzo, el torque y la potencia ejercida por una extremidad si se cuenta con plataformas de fuerza. Para facilitar el estudio espacial es usual proyectar el movimiento en los tres planos anatómicos sagital, frontal y transversal. Al graficar el movimiento para cada plano en función del tiempo (tanto para las coordenadas como para los ángulos) se producen curvas periódicas con características destacables que se repiten para la marcha de cualquier sujeto. Cualquier variación significativa en dichos patrones, puede representar una anomalía en el ciclo del movimiento.

A continuación se muestra una gráfica del ángulo formado por el pie y la pantorrilla, teniendo el tobillo como pivote:



**Figura 3:** Curva de Ángulo vs Tiempo para el tobillo durante un ciclo de marcha sano

El eje horizontal de la gráfica anterior representa el tiempo transcurrido del ciclo en términos de porcentaje. Es decir que en el 100% se ejecutó una zancada y el ciclo vuelve a comenzar. Las líneas verticales punteadas representan cada uno de los eventos característicos de la marcha. El eje vertical representa el ángulo alrededor del tobillo visto desde un plano coronal. Adicionalmente se establece como  $0^\circ$  el momento en el que la planta del pie hace contacto en un 100% con el suelo y forma un ángulo perpendicular con la pantorrilla. En la figura 4 se observa el pie en un plano coronal con el ángulo inicial de  $0^\circ$ :



**Figura 4:** Posición del pie tomada como referencia ( $0^\circ$ ) desde un punto de vista sagital.

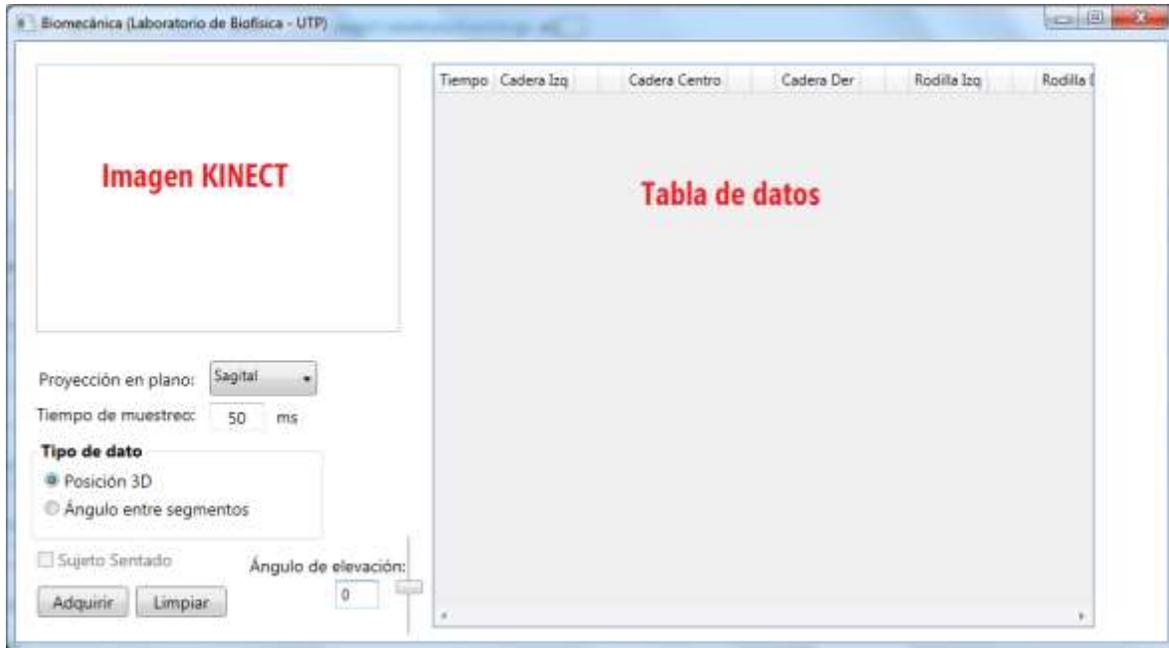
Una manera de obtener esta gráfica pero cambiando la referencia inicial es cuantificando el ángulo entre dos segmentos alrededor de una articulación. En el ejemplo anterior es posible graficar el ángulo que forma el pie con la pantorrilla alrededor del tobillo. Observe que en la posición inicial mostrada en la figura 4, el ángulo entre segmentos es de  $90^\circ$ ; por esta razón la gráfica se desfazará, pero tendrá como dato adicional el movimiento del pie con relación a la pantorrilla.

#### Sistema de coordenadas del KINECT



## 2.5 Procedimiento

### 2.5.1 Ejecute la aplicación “Biomecánica” (Desarrollada para el laboratorio de Biofísica de Ingeniería Física UTP)



**Figura 5:** Interfaz de usuario del software Biomecánica

Tenga en cuenta: Si el KINECT se encuentra conectado, se encenderá automáticamente y mostrará las imágenes capturadas en el espacio designado. La casilla “Sujeto Sentado” solo se utiliza en prácticas que requieran de esta función. El “tiempo de muestreo” determina el tiempo transcurrido entre dos medidas consecutivas en la Tabla de datos.

**2.5.2** Despeje el área suficiente para realizar una marcha de por lo menos 3 pasos. Enfoque esta misma escena con el KINECT. Recuerde que el ángulo de inclinación del sensor debe ser ajustado desde el software, si manipula la base puede dañar el motor con cualquier sobreesfuerzo. Para obtener medidas estándares, realice la marcha caminando de frente hacia el sensor KINECT (acercándose), en un eje perpendicular al sensor.

El software permite adquirir dos tipos de datos: pueden ser coordenadas tridimensionales, que señalan la posición de cada articulación; o el ángulo que forman los miembros (segmentos) relacionados a cada articulación. Es decir, si se obtiene un ángulo de  $120^\circ$  para la articulación de la rodilla derecha, significa que el muslo está formando este ángulo con la pantorrilla.

Para iniciar la captura de datos, presione el botón “Adquirir”. El mismo botón se usa para detener la adquisición. El botón “Limpiar” permite borrar los datos de la tabla para una nueva adquisición.

**2.5.3** Para cada uno de los integrantes del equipo de trabajo realice una adquisición mientras realiza una caminata normal a lo largo de la escena. Asegúrese de capturar por lo menos un ciclo completo de la marcha. Al mismo tiempo se realiza la adquisición de “posiciones 3D” y de “ángulos”; para visualizar cada tabla puede seleccionar la opción requerida en la casilla “Tipo de Dato”.

Puede verificar cada una de las muestras adquiridas al hacer clic sobre la fila correspondiente de la tabla de datos (Ver figura 6). En seguida se desplegará una gráfica que representa el esqueleto del sujeto de estudio en dicho instante de tiempo. Compruebe que todas las articulaciones y segmentos del esqueleto guardan una secuencia lógica, debido a que en ocasiones el sensor KINECT se puede confundir y mostrar información errónea por interferencia en la escena.

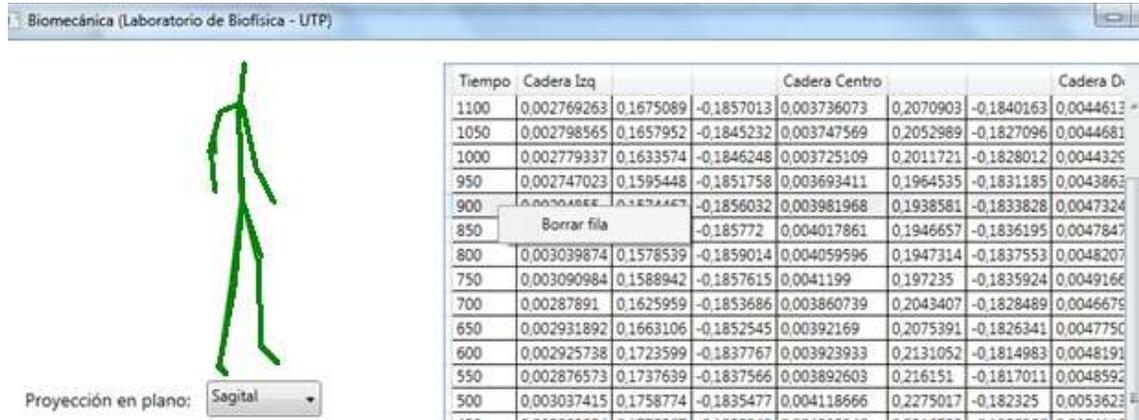


Figura 6: Verificación de muestras adquiridas.

En caso de encontrar una muestra errónea, esta puede ser borrada haciendo clic derecho sobre la fila. También es posible borrar múltiples líneas con clic derecho, después de haberlas seleccionado sobre la tabla de datos.

El software le permite seleccionar todos los valores de la tabla para copiarlos (Ctrl + C) manualmente en una hoja de Excel. Guarde cada una de las tablas de posiciones y ángulos de una manera ordenada para su posterior análisis.

**2.5.4** Para cada sujeto, identifique las muestras que representan cada uno de los 7 eventos a lo largo de un ciclo. Esto lo puede hacer visualizando el esqueleto de cada adquisición, al seleccionar la fila en la tabla de datos. Marque en la hoja de Excel la muestra relacionada a cada evento para su posterior análisis. (No es problema si no quedaron evidenciados todos los 7 eventos, trate de identificar la mayor cantidad posible)

## 2.6 Análisis

- 2.6.1** A partir de las coordenadas tridimensionales y de la demarcación hecha en la actividad 2.5.4 calcule para cada participante la siguiente información: Cadencia, tiempo de ciclo, rapidez, longitud de paso izquierdo, longitud de paso derecho, longitud de zancada, longitud de la pierna. Establezca la mejor manera de presentar los datos y a manera de conclusión trate de identificar proporcionalidades entre las variables de manera subjetiva.
- 2.6.2** Si un ciclo completo de marcha representa el 100%, determine a partir de los datos obtenidos en la actividad 2.5.4 el tiempo en porcentaje en el que se presenta cada una de los eventos. Promedie todos los resultados de todos los sujetos de estudio y presente una tabla con estos valores promedio.
- 2.6.3** A partir de los ángulos entre segmentos obtenidos en la actividad 2.5.3 construya gráficas de ángulo vs tiempo para el tobillo derecho y la rodilla derecha. Compare las gráficas entre los sujetos de estudio y presente sus propias conclusiones.