

# SISTEMA DE MOVIMIENTO CORPORAL DE LAS EXTREMIDADES INFERIORES EN POSICION SEDENTE DE UN ESTUDIANTE UNIVERSITARIO EN DIVERSAS ACTIVIDADES

Iván Navarrete-Insuasti, Universidad Técnica del Norte

Avenida 17 de Julio 5-21

ienavarrete@utn.edu.ec

**Abstract**—El proyecto muestra la creación de un novedoso sistema para el monitoreo corporal de extremidades inferiores del estudiante, a través del análisis de los movimientos y cálculo de ángulos de flexión de sus piernas en base a software libre. Este sistema está basado en el uso del sensor Kinect de Microsoft para cumplir con esta finalidad de capturar y esquematizar el cuerpo humano de tal manera que se logre captar los movimientos y virtualizarlos consiguiendo determinar 4 posturas generando un archivo de texto plano (.txt) que contenga el registro de los datos previamente capturados, para luego ser procesados utilizando un software de análisis estadístico, el cual permitirá desarrollar estimadores para determinar qué postura se adopta con mayor frecuencia en la diversas actividades que se realice.

**Keywords**— *Kinect, Ergonomia, Monitoreo Corporal, Sedente, Extremidades Inferiores*

## I. INTRODUCCIÓN

La investigación de las diferentes posturas corporales que adopta un estudiante al momento de realizar una actividad puede ser variada y a simple vista no tendría ninguna relevancia, pero profundizando en el tema se logrará ver que es de mayor trascendencia, ya que esto puede afectar en múltiples aspectos como en su salud, ya sea física, emocional o psicológica, así como, en su rendimiento académico o el desarrollo de actividades cotidianas [1].

El análisis de las posturas en posición sedente y los movimientos de las extremidades inferiores en las estaciones de trabajo es una cuestión clave para evaluar los potenciales riesgos de trastornos músculo-esqueléticos [2]. Con este fin, se han desarrollado métodos que son los más aplicados, el primero emplea tecnologías de procesamiento de imágenes [3] y el segundo se basa en sensores [4]. Las tecnologías de procesamiento de imágenes como Kinect permiten al evaluador realizar el análisis y monitoreo de los usuarios sin ser este un método invasivo, logrando mejores capturas sin interrumpir la actividad que esté realizando [5].

Las posiciones que pueden adoptar las extremidades inferiores en un posición sedente puede ser clasificada de distinta manera, [5] indica que en base a la biomecánica de la rodilla solo puede tomar 3 estados dependiendo de sus ángulos de flexión de acuerdo una plano frontal, por otro lado, [7] establece 5 posturas para el desarrollo del sistema basándose en que al ser dos extremidades estas pueden tener algunas combinaciones, se debe tomar en cuenta que cada autor ha propuesto un número distinto de posturas que se adapta específicamente a su sistema.

El mobiliario adecuado ayuda a la postura del cuerpo a su estado natural donde las posiciones de las piernas no cambian constantemente y los músculos se relajan, si cambia a una incorrecta posición o permanece excesivamente en la misma provocaría que los ligamentos se tensionan ocasionando dolor y molestias [8].

Para el análisis de datos del sistema se requiere utilizar algoritmos de clasificación debido al gran volumen de información obtenida desde los sensores, para este tipo de investigación se utilizara un método de conteo simple luego de clasificarlos mediante rangos determinados por los ángulos las extremidades inferiores. Para formación de los ángulos utilizaremos las partes del cuerpo como si fueran los lados de un triángulo y cada articulación sería un eje del mismo, esto se debe realizar de manera bidimensional para que los datos sean tratados de mejor manera, ya que al poseer solo un Kinect no se puede tener nuestra captura 3D completa del cuerpo, sino solo del plano en el que el Kinect pueda observar.

La elección de trabajar en el ámbito Open Source, específicamente Software libre Ubuntu se debe a que es un potente sistema, que nos brinda amplia compatibilidad con programas de procesamiento de imágenes como processing y a su vez logrando ahorrar en costos de licenciamiento, adicionalmente se debe notar la riqueza de proyectos de código abierto disponibles en la web que permiten a los desarrolladores extender sus posibilidades de crear nuevos sistemas generando un prototipo rápidamente para realizar pruebas. [9]

El internet de las cosas incorpora cuatro pilares para lograr que las conexiones de la red tengan más importancia y valor: personas, procesos, objetos, datos. Siendo los datos la parte fundamental para la transformación de atamos a bits, ya que este proceso es importante para convertir a l mundo físico en digital para de esta manera lograr analizarlo [10].

El objetivo del sistema propuesto es determinar las diferentes posturas que adoptan los estudiantes universitarios al realizar distintas actividades, para lo cual se emplea el sensor Kinect conjuntamente con una PC, los cuales logran grabas los movimientos de la persona transformándolos en datos digitales almacenándolos en archivo de texto plano, para determinar las distintas posturas se emplean ciclos de comparación de acuerdo a rangos establecidos según los ángulos de flexión de la piernas. Para determinar la postura adoptada con mayor frecuencia se usará un método de conteo que compara las posiciones tanto de la pierna izquierda como derecha, determinando que si están dentro mismo rango de ángulos pertenecen a la misma postura y se ha repetido la mayor cantidad de veces.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

Los problemas de salud ocasionados por una mala postura al realizar diferentes actividades afectan a la salud de la persona, para detectar y corregir estas posturas se puede implementar tecnologías de fácil acceso y la ayuda de herramientas de Open Source [11]. En la presente sección se indican los principales aspectos sobre el diseño y las variables consideradas para el desarrollo del sistema.

### A. Análisis de las Extremidades inferiores en posición Sedente

Para determinar las posturas más comunes se utilizó la técnica de observación directa, para establecer comportamientos de un grupo de personas. El análisis fue realizado con un grupo de estudiantes universitarios, los cuales fueron monitoreados durante sus actividades diarias como se muestra en la Fig1, se encontró un patrón de coincidencias el cual permitió determinar tres posturas, sin embargo considerando que son dos extremidades y estas no siempre están en el mismo rango se estableció una cuarta postura.



Fig 1. Análisis de posturas en un ambiente académico

Los estudiantes en distintas actividades toman diferentes posturas al permanecer sentados por tiempos prolongados o cortos de manera que, en la Tabla I, se especifican y detallan cada una representadas por un numero en la Fig1. Donde la posición uno según conceptos de ergonomía es la correcta, eliminado cargas extras y manteniendo la estabilidad del cuerpo mientras realiza una actividad [9].

Tabla 1: TABLA I. POSTURAS DE ANÁLISIS

Postura 1	Postura 2	Postura 3	Postura 4
<b>Angulo recto formado entre la pantorrilla y el muslo, se puede observar que se realiza una variación cruzando las piernas a la altura de los tobillos</b>	<b>Angulo agudo</b> formado entre la pantorrilla y el muslo, se puede observar que se realiza una variación cruzando las piernas a la altura de los tobillos	<b>Angulo obtuso</b> formado entre la pantorrilla y el muslo, se puede observar que se realiza una variación cruzando las piernas a la altura de los tobillos	Se considera postura por default en caso de que las piernas no coincidan dentro del mismo rango de análisis

El estudio para determinar los datos que va a aprender el sistema fueron realizados mediante un análisis piloto a 10

personas (7 hombres y 3 mujeres), cada uno de estos fue sensado en 4 posturas que el sistema detectara, ver Fig2.

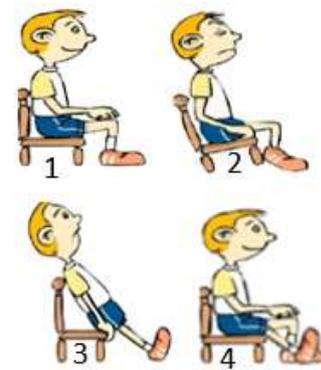


Fig 2. Posturas Sedentes

1. Ángulos entre  $85^\circ$  y  $120^\circ$
2. Ángulos menores a  $85^\circ$
3. Ángulos mayores a  $120^\circ$
4. Pierna izquierda y derecha en diferentes ángulos

### B. Diseño

Se diseñó el circuito utilizando como elemento principal el Sensor Kinect conectado al ordenador por medio del adaptador XBOX-USB, el cual permite que el sensor sea reconocido por el computador Fig 3.

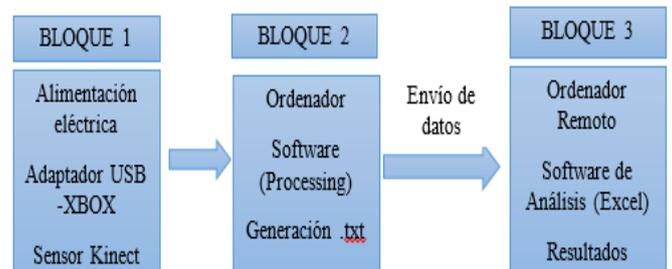


Fig3. Diagrama del Sistema

**Bloque1:** contiene todo lo relacionado al hardware de monitoreo, como es el Sensor Kinect y su forma de conexión hacia el ordenador, conjuntamente con su adaptador de XBOX A USB para ser conectado en el computador

**Bloque 2:** incluye el Ordenador personal con software libre Ubuntu, el Software para procesamiento "Processing" el cual permitirá generar un archivo de texto plano con la información recolectada

**Bloque3:** consta del Ordenador remoto en el cual recibió los datos previamente recolectados para luego ser tratados en el software de Análisis "Excel" y presentar en graficas estadísticas.

Se colocó el sensor Kinect delante del usuario de tal manera que este sea captado completamente, para ello es de suma

importancia que los objetos como muebles y equipos tecnológicos no obstaculicen la captura como se muestra en la Fig 4.



Fig 4. Colocación del sensor Kinect para realización de capturas

### C. Captura y Procesamiento de datos

En esta etapa el usuario es esquematizado y las articulaciones ya son puntos de referencia para determinar los ángulos que nos permitan detectar que posición adopta la persona. Los valores adquiridos no son totalmente exactos ya que estos sujetos a un margen de error por tratarse de capturas en tiempo real logrando así estimadores de posición. Los datos que se escanearon serán almacenados en un archivo .txt y analizados estadísticamente para determinar estimados de posición.

Una vez encontrados los puntos de referencia de ubicación extraídos desde el esqueleto graficado por Kinect de acuerdo a la tabla 2. A continuación, se calcula los ángulos entre las articulaciones. Estos son los valores que serán almacenados para formar el archivo que luego será procesado para lograr estimadores de posición.

Tabla 2: Extremidades definidas en la aplicación

Ángulo	Partes del cuerpo
<b>Rodilla pie derecho</b>	Pie, rodilla cadera (derecha)
<b>Rodilla pie izquierdo</b>	Pie, rodilla cadera (izquierda)
<b>Interno Rodilla pie derecho</b>	Rodilla derecha, rodilla izquierda, pie derecho
<b>Interno rodilla pie izquierdo</b>	Rodilla derecha, rodilla izquierda, pie izquierdo

Para realizar los cálculos correctamente utilizaremos nuestras partes del cuerpo como si fueran los lados de un triángulo y cada articulación sería un eje del mismo, en la figura 5 se puede apreciar la construcción de los triángulos y el diagrama de ángulos y lados exteriores de la rodilla que permitirán determina las posturas del individuo según su flexión.

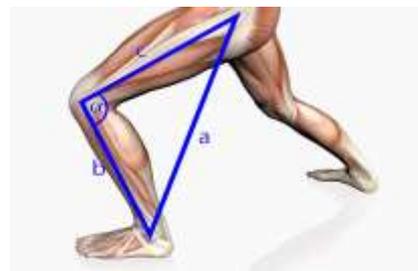


Fig 5. Formación del triángulo para cálculo de ángulos

Con el uso de la trigonometría es posible calcular la longitud del "hueso" entre dos articulaciones y el ángulo entre dos huesos conectados. Para calcular la distancia, o más bien la longitud del hueso, se utilizó la formula distancia entre los puntos.

$$|v| = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2}$$

Una vez calculadas las magnitudes de cada uno de los lados se utilizó la ley de cosenos para determinar el ángulo de interno de la rodilla.

$$\cos(\alpha) = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}$$

Con este proceso se puede apreciar el resultado del cálculo del ángulo de flexión de la pierna tanto derecha como izquierda como se ve en la Fig 7.

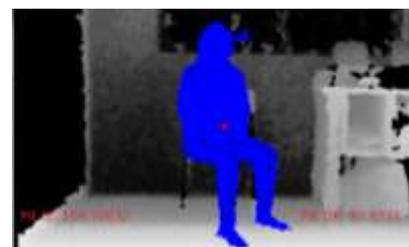


Fig 7: Vista de formación de triángulo desde el sistema

En la Fig 8 se muestra el cálculo de las distancias de cada uno de los lados del triángulo y de los ángulos de flexión de cada una de las piernas.



Fig 8: Ángulos y Magnitudes

El desarrollo del programa se representa en el diagrama de flujo de la fig 9.



Fig 9: Diagrama de Flujo

#### D. Pruebas

Se realizó un seguimiento a 10 personas, durante 2 minutos por usuario, consiguiendo monitorear las posturas adoptadas por ellos en diversas actividades, estas pruebas fueron realizadas en un ambiente controlado con las variables que se muestran en la tabla 3.

Tabla 3: Variables la prueba

VARIABLES	DESCRIPCIÓN
<b>Luz</b>	Luz estándar ninguna modificación a las condiciones que proporcione el escenario (Aula FICA)
<b>Mobiliario</b>	Bancas de la Facultad de Ingeniería en Ciencia Aplicadas, no se usarán las mesas
<b>Hora del día</b>	Horario matutino de 8:00 a 12:00
<b>Obstáculos</b>	No se considerar la utilización de objetos que interfieran en la captura entre el usuario y el sensor Kinect (mesas, sillas, objetos reflectantes, etc.) que complica la recolección de datos

**Prueba 1 – Estudiante Juega:** A los usuarios se les otorgó una Tablet (tableta digital) o celular en el cual se encuentra instalado un juego que le obliga a tener un alto grado de concentración ya que consiste en jugar el nivel uno y superarlo dentro del tiempo establecido.

**Prueba 2 – Estudiante Lee:** A los usuarios se les otorgó un documento para que lo leyeran y adoptara la posición en la cual él se sintiera más cómodo.

**Prueba 3 - Estudiante en la Biblioteca:** Consiste en captar las posturas que adopte cada uno de los estudiantes mientras siguen realizando sus actividades normales como navegar por internet en la cual no exija un alto nivel de concentración, pero tampoco le cause aburrimiento, en la se puede apreciar cómo se realizaron la captura de los datos dentro de esta locación, en la cual se incluye el mobiliario de la misma.

### III. RESULTADOS

En la tabla 4 se observa los resultados de las pruebas en las que el sensor Kinect detectó correctamente la posición y el tiempo en la cual permaneció con mayor frecuencia el usuario, logrando como resultado que existen usuarios que

prevalecen en una posición por mayor tiempo indistintamente de la actividad que realice.

Tabla 4: Resultados de las pruebas

ESTUDIANTE	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3
USUARIO 1 H	1	99	3
USUARIO 2 H	1	65	1
USUARIO 3 H	1	52	4
USUARIO 4 H	3	53	3
USUARIO 5 M	2	49	4
USUARIO 6 M	1	43	2
USUARIO 7 H	4	43	3
USUARIO 8 H	1	54	3
USUARIO 9 H	1	57	2
USUARIO 10 M	4	54	1

En los usuarios 2, 8, 9 se ha detectado que permanecen más de la mitad del tiempo de la captura en la misma posición en todas las pruebas, considerado que el total de la captura es 109s.

Un dato curioso que se pudo encontrar, es que, mientras que los usuarios son más conscientes de sus errores e intentaban corregir sus posturas tanto en espalda como en cuello, las piernas son puntos en los cuales inconscientemente solían permanecer inmóviles sin ninguna variación por largos periodos de tiempo, acciones que podrían dar como resultando molestias en las articulaciones.

Se ha encontrado que los usuarios permanecen en una posición rígida por más de la mitad de la prueba, coincidiendo con [9] que indica que permanecer en la misma posición por grandes periodos de tiempo puede ocasionar problemas en la salud.

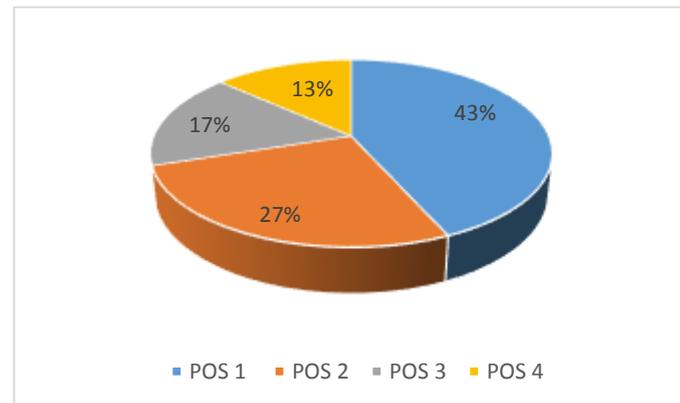


Fig 10: Promedio de Adopción de Posiciones Según las pruebas Realizadas

Como se puede observar en la figura 10, la posición que más adopta un estudiante es la postura 1 para las diversas actividades, sin embargo, esto no da ninguna información concluyente sobre si las piernas revelan un estado e concentración del estudiante dentro del aula.

#### IV. CONCLUSIONES

- Se logró desarrollar un sistema del monitoreo de movimiento corporal de las extremidades inferiores eficiente, logrando 4 posiciones delimitadas de acuerdo al rango de flexión de las piernas y formulación de ángulos.
- Tras la realización de las diversas pruebas se logró determinar que la postura que adopta el ser humano no siempre es la misma y que esta cambia de acuerdo a la actividad que este realice a pesar de que sea una actividad repetitiva.
- La información obtenida en esta investigación no ha sido lo suficientemente concluyente para determinar una postura que indique que una persona se encuentre concentrada, pero se ha detectado que a posición 1 es la más utilizada para realizar actividades que necesiten un alto grado de actividad mental.
- Este estudio forma parte de uno de los pilares fundamentales para el IoT al colaborar con el análisis de objetos sin tener contacto sobre ellos, de esta manera se consiguió captar datos de un objeto no digital como es el movimiento corporal.
- En un ambiente controlado se logra reducir el rango de error que presentan las diversas limitaciones y objetos que pueden ocasionar interferencias entre las capturas del sensor Kinect, logrando una toma de datos de mayor precisión.
- El uso de este sistema reduce considerablemente el tiempo de procedimiento en comparación a otros métodos de monitoreo corporal al monitorear al estudiante mientras realiza movimientos y guardar los mismos como información digital de forma automática.

#### V. RECOMENDACIONES

- Para que la captura del movimiento se realice de forma correcta fue necesario aislar todos los elementos que pudiesen ocasionar problemas como son: la cantidad de luz incidente, natural y artificial, la mobiliaria, los objetos reflectantes y obstáculos sobre el sensor.
- Encontrar el ángulo y la posición precisa de colocar el sensor es un punto clave para obtener datos correctos evitando ocultar los puntos o Joints necesarios para construir el cuerpo humano, de no ser así, obtendríamos valores completamente aleatorios y sin sentido pues el esqueleto del usuario no podría localizarse debidamente y su representación por pantalla resultaría totalmente caótica.

- Con base al estudio realizado en este trabajo, se podrían efectuar futuras mejoras, mediante la implementación de un segundo Kinect, el cual, permita monitorear el cuerpo humano desde dos perspectivas al mismo tiempo, de tal manera que los joints obtenidos tendrán mayor precisión.
- Utilizar el reconocimiento de posiciones por medio de cálculo de ángulos entre los segmentos de las extremidades inferiores es la forma más adecuada y de mayor precisión para la captura de datos.
- La utilización de miniordenadores en este tipo de estudio no es aconsejable ya que para procesar imagen, video y gran volumen de datos se necesita gran capacidad de procesamiento característica que no cumplen estos equipos.
- Para lograr que las pruebas sean realizadas de manera objetiva se aconseja que el usuario no tenga conocimiento previo sobre la funcionalidad del sistema, logrando así mejores resultados.

#### VI. BIBLIOGRAFÍA

- [1] I. N. d. H. y. S. d. Trabajo, «Manual de normas técnicas para el diseño ergonómico.» *ISNHT*, pp. 60-75, 2013.
- [2] L. Buckle, «Comparison of methods for the assessment of postural load on the back.» *Ergonomics*, p. 674-695, 1999.
- [3] D. L. A. ARENAS, «Software para el análisis ergonómico basado en imágenes de personas en su puesto de trabajo.» *UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN*, pp. 2-63, 2014.
- [4] Y.-R. Huang y X.-F. Ouyang, «Sitting Posture Detecting And Recognition Using Force Sensor.» de *International Conference on BioMedical Engineering and Informatics*, Chongqing, 2012.
- [5] M. F. A. C. E. M. J. R. Auvinet E, «Detection of gait cycles in treadmill walking using a kinect.» *Gait & posture*, pp. 722-725, 2014.
- [6] S. S. Solsona, «Biomecánica de la rodilla.» *Nopainrun*, pp. 1 - 5, 2014.
- [7] A. A. Martínez, «Factores asociados a la postura corporal en estudiantes universitarios.» *CES Movimiento y Salud*, pp. 1 - 8, 2014.
- [8] Y. Mingjiu y Q. L. Changde, «Ergonomics Analysis for Sitting Posture and Chair.» *International Conference on Computer Aided Industrial Desing and Conceptual Desing*, vol. 7, pp. 1-4, 2007.
- [9] P. Jamieson y J. Herdtner, «More missing the Boat — Arduino, Raspberry Pi, and small prototyping boards and engineering education needs them.» de *Frontiers in Education Conference (FIE)*, El Paso, TX, 2015.

- [10] CISCO, «Internet de las Cosas,» 15 Octubre 2015. [En línea]. Available: <https://static-course-assets.s3.amazonaws.com/IoE11/ES/index.html#2.1.1.1>. [Último acceso: 5 Marzo 2016].
- [11] Bienestar Salud, «Bienestar Salud 180,» 15 Febrero 2013. [En línea]. Available: <http://bienestar.salud180.com/salud-dia-dia/fotos-cambios-en-tu-cuerpo-por-estar-todo-el-dia-sentada>. [Último acceso: 13 Abril 2016].
- [12] Cooperativas Medicas de Galicia, «Manual de Ergonomia,» *Xunta de Galicia*, pp. 50-63, 2014.
- [13] X. Hao, X. Tao, C. Zhang y Y. Hu, «An Effective Method To Improve kNN Text Classifier,» de *Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking, and Parallel/Distributed Computing, 2007. SNPD 2007. Eighth ACIS International Conference*, Qingdao, 2007.
- [14] Cisco, «Introduccion al IoT,» 2015. [En línea]. Available: <https://static-course-assets.s3.amazonaws.com/IoE11/ES/index.html#2.1.1.1>.



**Iván E. Navarrete I.** nació en Ibarra- Imbabura, el 15 de octubre 1992. Estudió la secundaria en el colegio técnico “Mariano Suarez Veintimilla” con la especialidad de Informática. Ingeniero en Electrónica y Redes de la Comunicación en la Universidad Técnica del Norte de Ecuador. Participó en las “Jornadas Académicas CIERCOM 2014” y en el primer concurso de prototipos electrónicos, cuenta con curso de manejo de Arduino de la Rama Estudiantil IEEE UTN, Introducción al Networking “CCNA1”, Principios Básicos de Routing y Switching “CCNA2” de la academia CISCO, Linux Básico y Avanzado del Centro de Excelencia en Tecnologías de la Información – CEIT-UTN, participó en el evento Coworking IBM y STARTAUP GRIND Innovación y Emprendimiento realizadas en Yachay EP. ha desempeñado labores como administrador y técnico en mantenimiento de equipos informáticos en D’ONE soluciones informáticas.