

**HEDAM – HERRAMIENTA DE APOYO PARA LA EVALUACIÓN DE TÉCNICAS
APROPIADAS PARA REALIZAR FIGURAS ACROBÁTICAS, EN LA CREACIÓN
DE DANZAS HECHA POR UNA MUJER.**



DANIELA ROLDAN QUIROGA
CÓDIGO 201255183
daniela.roldan.quiroga@correounivalle.edu.co
JORGE ARLEY CASTAÑO RODRIGUEZ
CÓDIGO 201153641
jorge.arley.castano@correounivalle.edu.co

DIRECTOR
ALBEIRO APONTE VARGAS, MS.c

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN
TULUÁ
2016

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del Evaluador

Firma del Director

DEDICATORIAS

Desde que tengo uso de razón siempre tuve en mi mente el gran objetivo de convertirme en el profesional que siempre soñaste. Hoy, cada palabra que impregno en este documento está dedicada a tu memoria, porque fuiste fuente de grandes valores y enseñanzas que han marcado cada paso que he dado, porque tu sabiduría ha alimentado mi vida, porque fuiste una persona intachable, hoy quiero dedicar este logro, el cual es más tuyo que mío a ti,
Ancizar Rodríguez Ciro.

También dedico este trabajo de grado a mis padres, María Belley Rodríguez Soto y Vicente Arley Castaño, a mis abuelas, María Trinidad Soto Buitrago y Ana Judith Castaño y demás familiares que creyeron en mí. De igual manera deseo dedicar este triunfo a mi novia, Luisa Fernanda Parra Rojas y amigos, que incondicionalmente siempre han estado pendiente de mí y siempre me apoyaron para que este proyecto se llevara a feliz término.

Jorge Arley Castaño Rodríguez

Dedico este trabajo de grado a cada una de las situaciones que se presentaron en mi vida para poder llegar hasta este punto, cada circunstancia y cada persona que ha nutrido mi proceso de formación y el desarrollo de este gran proyecto.

Daniela Roldan Quiroga

AGRADECIMIENTOS

El esfuerzo que requirió la realización del presente proyecto titulado: “Herramienta de apoyo para realizar figuras acrobáticas, en la creación de danzas hecho por una mujer”, no habría sido posible sin el apoyo incondicional de personas que confiaron en nosotros.

Inicialmente agradecemos a Dios por brindar la posibilidad de tener un apoyo y una determinación para decidir adquirir una formación profesional, de rodearnos de nuestras familias y contar con su respaldo y comprensión.

Como parte del proceso de formación, agradecemos a nuestros profesores por compartir con nosotros sus conocimientos, además cabe hacer un gran mérito al director Albeiro Aponte por su gran paciencia y compromiso para con nosotros, por su constante ayuda y guiarnos en esta culminación del proceso.

Se resalta la colaboración de la asociación de baile Corpumentdanz y a sus miembros por el tiempo disponible. Además de la colaboración de los integrantes del laboratorio de multimedia y visión.

También a nuestros compañeros, quienes estuvieron durante casi todo el proceso de formación, además a cada una de las personas que directa o indirectamente aportaron en la realización y culminación de este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1 Descripción general	2
1.2 Planteamiento del problema	2
1.2.1 Formulación del problema	4
1.3 Objetivos	5
1.3.1 Objetivo general	5
1.3.2 Objetivos específicos	5
1.3 Estructura del documento	6
2. MARCO REFERENCIAL	7
2.1 Marco Teórico	7
2.1.1 Kinect	7
2.1.2 Skeleton Tracking	10
2.1.3 Librerías para el uso del Kinect	13
2.1.4 Entorno de desarrollo	14
2.2 Marco Conceptual	15
2.2.1 Coreografía	15
2.2.2 Danza	15
2.2.3 Elongación	15
2.2.4 Empeine (pie)	15
2.2.5 Matching	15
2.2.6 Middleware	15
2.2.7 Odometría visual	15
2.2.8 Split	15
2.2.9 Windows Presentation Foundation	15
2.3 Estado del arte	16
3. DESARROLLO DEL PROYECTO	18
3.1 ANÁLISIS	18
3.1.1 Figuras acrobáticas	18

3.1.2 Modelamiento matemático	23
3.1.3 Requerimientos funcionales	25
3.2 DISEÑO.....	26
3.2.1 Arquitectura	26
3.2.2 Diagrama de componentes.....	27
3.2.3 Diagrama de clases	27
3.2.4 Modelo de datos	28
3.3 IMPLEMENTACIÓN	31
3.3.1 Codificación.....	31
3.3.2 Instalación.....	31
3.3.3 Comportamiento del sistema.....	31
4 PRUEBAS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	43
4.1 Prueba N. 1	43
4.2 Prueba N. 2	45
4.3 Prueba N.3.....	47
4.4 Prueba N. 4.....	49
5 CONCLUSIONES Y PROYECCIONES.....	53
5.1 Conclusiones	53
5.2 Proyecciones	54
REFERENCIAS	55
ANEXOS.....	58
Anexo 1	58
Anexo 3	59
Anexo 4	60

LISTA DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1 Equilibrio invertido en las manos</i>	3
<i>Ilustración 2 Sensor Kinect.</i>	7
<i>Ilustración 3 Diagrama del hardware de Kinect</i>	208
<i>Ilustración 4 Funcionamiento del modelo RGBa.</i>	9
<i>Ilustración 5 Funcionamiento de los bytes en la cámara de profundidad</i>	9
<i>Ilustración 6 Skeleton Tracking.</i>	10
<i>Ilustración 7 Posturas del Kinect.</i>	11
<i>Ilustración 8 Rastreo del esqueleto con imágenes de profundidad.</i>	12
<i>Ilustración 9 Interacción del softwares y el hardware con la aplicación</i>	14
<i>Ilustración 10 Figura acrobática</i>	19
<i>Ilustración 11 Sección fotográfica</i>	19
<i>Ilustración 12 Triangularización y toma de ángulos</i>	20
<i>Ilustración 13 Puntos estratégicos.</i>	20
<i>Ilustración 14 Captación del esqueleto</i>	23
<i>Ilustración 15 Formación de ángulo</i>	23
<i>Ilustración 16 Arquitectura</i>	26
<i>Ilustración 17 Diagrama de componentes</i>	27
<i>Ilustración 18 Diagrama Conceptual</i>	28
<i>Ilustración 19 Estructura del modelo de datos</i>	29
<i>Ilustración 20 Diagrama de lectura y escritura de archivos</i>	30
<i>Ilustración 21 Comportamiento de la aplicación</i>	32
<i>Ilustración 23 Seleccionar ruta donde se guardan los resultados</i>	34
<i>Ilustración 24 Creación del arreglo de esqueletos</i>	35
<i>Ilustración 25 Detección del primer esqueleto</i>	36
<i>Ilustración 26 Detección del segundo esqueleto</i>	36
<i>Ilustración 27 Detección del primer esqueleto</i>	36
<i>Ilustración 28 Diagrama de flujo, proceso de detectar esqueletos</i>	37
<i>Ilustración 29 Primer bailarín detectado</i>	38
<i>Ilustración 30 List completa de bailarines</i>	39
<i>Ilustración 31 Vectores resultantes</i>	40
<i>Ilustración 32 Modelo general archivo pdf</i>	42
<i>Ilustración 33 Archivo txt, con el calculo de los ángulos mediante el aplicativo.</i>	43
<i>Ilustración 34 Interfaz de Geogebra, con el calculo de los ángulos mediante Geogebra.</i>	44
<i>Ilustración 35 Cantidad de aciertos</i>	44
<i>Ilustración 35 Cantidad de aciertos</i>	49
<i>Ilustración 36 Representación de datos de los novatos</i>	50
<i>Ilustración 37 Representación de datos de un novato y una bailarina</i>	50
<i>Ilustración 38 Representación de datos de una novata y un bailarín</i>	51
<i>Ilustración 39 Representación de datos de los bailarines</i>	51
<i>Ilustración 40 Prueba para las condiciones de uso del Kinect</i>	58
<i>Ilustración 41 Pruebas con expertor</i>	59
<i>Ilustración 42 Pruebas con novatos</i>	60

<i>Ilustración 43</i> Pruebas con novato hombre, bailarina mujer	60
<i>Ilustración 44</i> bailarín hombre y novata mujer	61
<i>Ilustración 45</i> bailarines	61

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1</i> Resultados esperados.	5
<i>Tabla 2</i> Representación de la triangularización de los ángulos en la mujer	21
<i>Tabla 3</i> Representación de la triangularización de los ángulos en el hombre	22
<i>Tabla 4</i> Siglas	29
<i>Tabla 5</i> Variables de los ángulos	39
<i>Tabla 6</i> Matriz	41
<i>Tabla 7</i> Ángulos calculados por el aplicativo vs Ángulos calculados con Geogebra	44
<i>Tabla 8</i> Distancia entre el usuario y el Kinect, con respecto al suelo	45
<i>Tabla 9</i> Distancia entre el usuario y el Kinect, con una altura de 40 cm con respecto al suelo	46
<i>Tabla 10</i> Pareja 1, prueba. Cantidad de aciertos	48
<i>Tabla 11</i> Pareja 1, prueba 2	48
<i>Tabla 12</i> Pareja 1, prueba 3	48
<i>Tabla 13</i> Pareja 2, prueba 1	48
<i>Tabla 14</i> Pareja 2, prueba 2	48
<i>Tabla 15</i> Pareja 2, prueba 3	48

LISTA DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1</i>	<i>Característica f para cada pixel x de la imagen de entrada.</i>	<i>12</i>
<i>Ecuación 2</i>	<i>Ecuación de magnitud de un vector</i>	<i>24</i>
<i>Ecuación 3</i>	<i>Ecuación de la norma de un vector</i>	<i>24</i>
<i>Ecuación 4</i>	<i>Producto punto</i>	<i>24</i>
<i>Ecuación 5</i>	<i>Ángulo resultante</i>	<i>24</i>

RESUMEN

El presente trabajo consiste en la evaluación de figuras acrobáticas que se usan en la creación de coreografías de baile. Tiene como objetivo principal, convertirse en una herramienta de apoyo para mujeres (docentes) que enseñan danzas, debido a que por su estructura física pueden verse limitadas en el momento en el que desee diseñar una coreografía que contenga alguna figura acrobática. El proyecto se desarrolló bajo la metodología de Proceso Unificado Ágil (AUP) adoptando una arquitectura Modelo, Vista, Controlador (MVC) junto al paradigma de programación orientado a objetos (POO).

Para su implementación, se utiliza la tecnología del sensor Kinect que ayuda al reconocimiento del esqueleto y el movimiento de los usuarios. Además, se apoyó en el cálculo de ángulos que se forman en algunas partes del cuerpo, empleando el software GeoGebra para el cálculo de ángulos que se forman en algunas partes del cuerpo. Por último, para obtener una evaluación, se creó un algoritmo que extrae coordenadas tridimensionales correspondientes a unas articulaciones específicas del usuario, agrupándose por vectores, buscando con ello el cálculo y la comparación de cada uno de los ángulos formados y así proporcionarle al usuario conocer si la figura acrobática se está realizando de manera correcta.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción general

La danza se toma como una forma de comunicación no verbal de la cual el instrumento esencial es el cuerpo y sus movimientos. Es reconocida a nivel mundial y en cada región se vive de una manera diferente y única. Aunque, existen bailes como el ballet que utiliza estructuras invariables independientemente del lugar donde se practique.

La danza utiliza un elemento fundamental llamado coreografía. Esta consta de una estructura de movimientos que se planifican minuciosamente de acuerdo a la idea o el tema que el coreógrafo desee plasmar¹. Muchas de las coreografías están conformadas de una estructura bastante particular que son las figuras acrobáticas. Su enseñanza, requiere de esfuerzo físicos, por lo tanto pueden presentarse complicaciones en su realización y su enseñanza cuando una mujer coreógrafa se enfrenta a instruir alguna de ellas, debido a su textura física y las posibles limitaciones.

Para facilitar este proceso, se busca desarrollar una herramienta tecnológica prototipo de lo que puede ser un evaluador de una figura acrobática que muestre la utilización de las TICs para apoyar el proceso de enseñanza y aprendizaje de los bailarines que se enfrentan a colocar una figura acrobática en una coreografía.

1.2 Planteamiento del problema

Una de las necesidades más grandes del ser humano y en general de los seres vivos es la comunicación; la cual, se emplea para expresar sus pensamientos. Por este motivo, el hombre ha ideado una variedad de formas que le permiten expresarse, estas pueden ser desde cosas tan simples como el lenguaje corporal, hasta formas más elaboradas como lo son las diferentes artes, los medios de comunicación, los aparatos electrónicos, entre otros.

El método más importante que permite realizar todo este proceso de comunicación y el que sirve como punto de partida, es el lenguaje corporal². Debido a esto, surge la danza como una forma de expresión de sentimientos y emociones. Este tipo de comunicación es realizada con todas las partes del cuerpo y normalmente de un acompañamiento musical³.

¹ <https://es.wikipedia.org/wiki/Coreograf%C3%ADa> Consultado el 21 de octubre de 2015 ² <https://habilidadesocial.com/el-lenguaje-corporal/> Consultado el 15 de enero de 2016

³ www.danzaballet.com/tipos-de-danza. Consultado el 23 de octubre de 2015.

Según el artículo “las lesiones en la danza primera parte” publicada en la Revista de Colección Danza Ballet de Barcelona[1], que es especializada en el estudio de danza en Ballet Clásico, se resalta la importancia de tener en cuenta las características físicas de cada uno de los bailarines, debido a que pueden presentarse limitaciones y restricciones que impiden llevar a cabo una técnica perfecta, tales como la estatura, la contextura, el estado físico y en la edad del bailarín, además de la falta de conocimiento de la técnica. Esta última, puede que no plantee problemas por aquéllos en los que las condiciones de su cuerpo son ideales, pero para los que no las poseen, pueden presentarse pequeñas lesiones que tienen la posibilidad de permanecer allí durante un largo tiempo convirtiéndose en una lesión crónica con períodos de dolor intenso y de malestar controlado. Sin embargo, es muy común encontrar bailarines que descuidan su posición en los ensayos lo que lleva a exponerse a una posible lesión. Ninguna persona, trabaja con la misma intensidad, existe siempre un sentido de movimiento facilitado y otro restringido que es justamente, el que merece más atención a la hora de la ejecución de algún ejercicio, teniendo en cuenta que sus conocimientos y el potencial físico no deben llegar más allá de sus límites debido a que poco a poco se pueden ir debilitando y así causando una posible fatiga muscular y otras complicaciones en su salud.

Por lo tanto, cuando una persona del género femenino se dedica al arte de crear danzas, puede encontrar algunos obstáculos debido a la estructura de su cuerpo. Por esto, surge una problemática a la hora de diseñar alguna coreografía que cuente con figuras acrobáticas. Normalmente para poder realizar este tipo de actividad, se necesita como apoyo el acompañamiento de una persona del género masculino que cuente con la experiencia y el conocimiento suficiente de las técnicas que se van a llevar a cabo y esto debido, a que él puede con más facilidad realizar esfuerzos físicos. Si en algún momento no se cuenta con esta ayuda, es poco profesional tomar como apoyo a un estudiante que no posee el conocimiento adecuado, poniendo en riesgo la salud y la integridad física tanto del estudiante como del docente.



Ilustración 1 Equilibrio invertido en las manos.

En la ilustración 1, se evidencia que en una actividad aparentemente tan simple como la de pararse y sostener el peso del cuerpo en las manos, ya es un trabajo que necesita por lo menos un control del peso del cuerpo y la suficiente fuerza de en las manos para sostenerse. Si se realiza un análisis más a fondo de esta imagen, se puede notar que el cuerpo se encuentra arqueado y totalmente rígido, las manos están posicionadas hacia el frente y la cabeza hacia atrás, estas son técnicas para poder llevar a cabo este tipo de actividades y que no haya posibles lesiones.

Sin embargo, la enseñanza de la danza ha sido tradicionalista y el apoyo del desarrollo de software casi no es una opción viable a la hora de la creación de danzas, debido a lo contradictorio que puede ser, ya que el uso de tecnología puede causar sedentarismo y una limitante para la creatividad, teniendo en cuenta que algunas formas de danza tienen tradiciones antiguas, codificadas y registradas, que pueden ser fuente de inspiración. A su vez, otras son tradiciones folklóricas no registradas de las que se sabe muy poco, dice Judith Lynne Hanna, investigadora de la danza en Maryland. La tecnología de computación, aunque promisorio, está aún muy lejos de la mente de los bailarines. Vaslav Nijinsky, considerado uno de los más grandes bailarines del mundo, dijo una vez: Pienso poco y por lo tanto atiendo todo lo que siento... Siento a través de la carne, no del intelecto [2]. Aunque cabe mencionar, que por medio de la tecnología se han generado avances importantes a nivel creativo, permitiendo pensar, reflexionar y proponer nuevos lenguajes a la danza. Los aportes que la ciencia ha hecho a la danza, se pueden visualizar, por ejemplo, a través de las investigaciones realizadas por el coreógrafo Merce Cunningham[3], quien en conjunto con la universidad de Simon Fraser (Canadá) realiza una colaboración a través del desarrollo del programa computacional Lifeform, dando origen a un importante software de creación de imagen 3D, que contiene interacciones con el público, captura de sonido y movimiento, realidad virtual, siendo estas algunas formas de observar y reflexionar sobre la danza. Sin embargo, aunque este tipo de software es completo y a su vez robusto no soluciona la problemática anteriormente descrita, esto se debe a que no es asequible fácilmente por los bailarines.

Es por ello que llevar un control mediante un software que realiza un análisis pertinente de imágenes, sería de gran ayuda en el proceso de la realización y evaluación de figuras acrobáticas para que una mujer pueda evitar posibles lesiones en sus bailarines estudiantes.

1.2.1 Formulación del problema

¿Cómo se puede apoyar a una mujer en la creación de danzas para que pueda realizar las técnicas adecuadas que se deben de llevar a cabo y lograr hacer una figura acrobática?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar una aplicación prototipo de escritorio, que sirva de apoyo a la mujer en la explicación de la realización de técnicas de alguna figura acrobática, permitiendo la evaluación de las mismas durante el proceso de la creación de danzas.

1.3.2 Objetivos específicos

Tabla 1 Resultados esperados.

Objetivo	Resultado esperado	Sección
Determinar las características de máximo dos figuras acrobáticas, para una posterior comparación.	Documentos de técnicas que se deben de llevar a cabo en una figura acrobática y así seleccionar las que se van a servir como guías, obteniendo el conocimiento de la medición de ángulos y pendientes de la posición de las diferentes partes del cuerpo de los bailarines.	Sección 3.1.1
Construir el modelo de datos para cada una de las figuras acrobáticas determinadas.	Codificación el modelo que ha diseñado para obtener una representación computacional que posteriormente se va a comparar por medio de un algoritmo de matching.	Sección 3.2.4
Determinar la correspondencia entre la estructura del modelo de la figura acrobática con la información capturada por el kinect.	Documentos de análisis, selección e implementación de un algoritmo que identifica, clasifica y compara las características similares del modelo y los datos dados por el kinect.	Sección 3.2.4
Integrar la codificación con la interfaz gráfica que valore los resultados dados por la de la aplicación prototipo.	Distribución adecuada de los elementos que tendrá la interfaz gráfica; además de las pruebas pertinentes, la realización del documento final y la implementación del sistema como tal.	Sección 3.3
Probar la aplicación prototipo con diferentes figuras acrobáticas capturadas por medio del kinect.	Validaciones de la aplicación prototipo con diferentes figuras acrobáticas.	Sección 4

1.3 Estructura del documento

El presente documento es posible resumirlo en cuatro (4) apartados, los cuales plantean y describen un problema y muestra la solución propuesta con sus respectivos resultados. Estos apartados son:

En el capítulo 1 se presenta una descripción general del contexto en el que se desarrollará el trabajo, la formulación del problema que se desea solucionar, además los objetivos pertinentes para su ejecución del trabajo.

En el capítulo 2 se presentan los antecedentes y la situación actual de las soluciones propuestas para tratar el problema que tiene una mujer en la enseñanza de figuras acrobáticas en la danza, además contiene el marco teórico donde se evidencian los temas de estudio en los que se fundamenta el trabajo.

En el capítulo 3 se describe la metodología que se empleó a lo largo del desarrollo del trabajo, se realiza un análisis y diseño del sistema, utilizando los conocimientos descritos en los capítulos previos, además, se describen los diferentes elementos que constituyen este sistema y los algoritmos aplicados en cada uno de ellos.

En el capítulo 4 se evidencia la evaluación del sistema, las diferentes pruebas realizadas y los datos obtenidos que posteriormente serán analizados con el fin de obtener las conclusiones.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 Marco Teórico

2.1.1 Kinect

Kinect [4], conocido por el code name Project Natal, es un dispositivo creado por Alex Kipman y desarrollado por Microsoft para Xbox 360, que permite interactuar a los usuarios con la consola a través de gestos corporales y la voz. Es un periférico para videojuegos que prescinde de mandos gracias a un sensor de detección de movimientos. Este sensor está previsto para que sea utilizable en ordenadores que tengan un sistema operativo Windows 7 en adelante, 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 [5].



Ilustración 2 Sensor Kinect. Tomado de⁴

El Kinect se ha convertido en una herramienta moderna muy útil, el cual, gracias a la información que se captura por medio de este, se pueden crear aplicaciones de software diseñadas por desarrolladores para mejorar la interacción con elementos virtuales a través del movimiento del cuerpo humano, por ejemplo Dave et al. [6], ha desarrollado un sistema de interacción con un ordenador a través de gestos (teniendo en cuenta los típicos que se asocian a un ordenador, tales como el movimiento del ratón y el doble clic). De la misma forma se han creado aplicaciones NUI (Natural User Interface), con el fin de que los usuarios tengan una mejor experiencia al momento de interactuar con algunos dispositivos electrónicos, por ejemplo un Televisor que cambie de canal al detectar el movimiento de las manos hacia la derecha o izquierda.

⁴ <http://www.taringa.net/comunidades/xbox360/6769062/F-A-Q-Todo-lo-que-tenes-que-saber-sobre-Kinect.html>. Consultado el 14 de Abril de 2016

Arquitectura de Kinect

Estructuralmente, el sensor kinect se asemeja a una cámara web que es procesado por el PS1080 System-on-a-chip de PrimeSense, incluye un sensor de profundidad, cámara RGB, un arreglo de 4 micrófonos que aíslan las voces del ruido ambiental permitiendo utilizar al Kinect como un dispositivo para charlas y comandos de voz en la consola Xbox, además de un sensor de infrarrojos (emisor y receptor), que es capaz de capturar el esqueleto humano, reconocerlo y posicionarlo en el plano.⁵

En la Ilustración N. 3, se observa la estructura del hardware del sensor kinect, cuyo procesador de imágenes 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. El chip ejecuta todos los algoritmos de adquisición de imágenes de profundidad de la escena a partir del sistema de proyección de un patrón de puntos infrarrojos llamado LightCoding.[7]

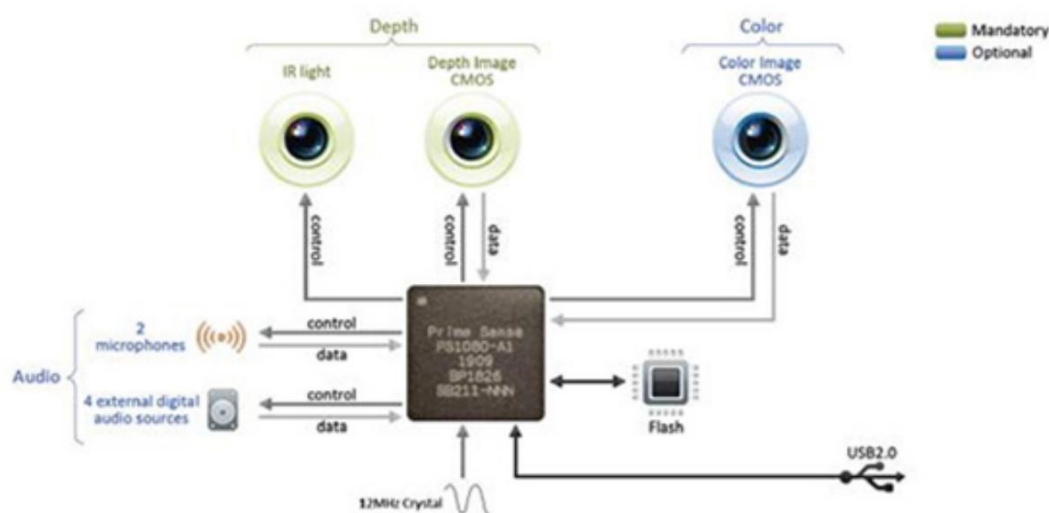


Ilustración 3 Diagrama del hardware de Kinect. Tomado de:⁶

Kinect funciona bajo un esquema maestro-esclavo, donde el maestro es la computadora y el esclavo es el Kinect. El chip genera y mantiene en memoria los cuadros de imagen de profundidad y color a una velocidad de 30 cps (cuadros por segundo). El acceso a estos datos se realiza a través de un puerto USB 2.0 especial. El procesamiento del audio y el control de USB es realizado por un microprocesador Marvell Technology que funciona independiente al procesamiento de imágenes.

⁵ <http://www.kinectfordevelopers.com/es/2012/11/06/que-es-el-dispositivo-kinect/> Consultado el 15 de Abril de 2016

⁶ <http://ideasgeek.net> Consultado el 15 de Abril de 2016

Cámara de profundidad

Kinect utiliza una cámara *RGB* que obtiene imágenes en color y 2 cámaras de infrarrojos para medir la distancia a la que se encuentran los elementos que están en el campo de visión. [8]
Gracias al SDK de Kinect para Windows se puede obtener los datos de las cámaras y trabajar con ellos para utilizarlos en diversas aplicaciones.

Las imágenes que se obtienen del sensor se codifican en un vector de bytes. Para entender esta codificación hay que saber primero como se estructura una imagen.

Una imagen se compone de un conjunto de píxeles. Cada pixel de la imagen tiene 4 componentes que representan los valores de los colores rojo, verde y azul más una componente que corresponde con el valor de transparencia (alfa), así como se muestra en la Ilustración N. 4, en el caso de imágenes *RGBa*, o un valor vacío, si es de tipo *RGB*.

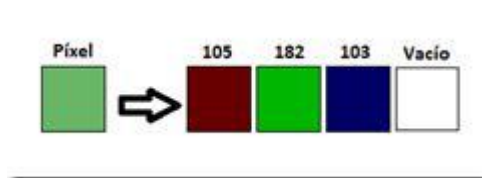


Ilustración 4 Funcionamiento del modelo *RGBa*. Tomado de: [7]

Cuando se requiere el uso de las cámaras de profundidad el procedimiento varía. Al igual que con la cámara *RGB* también obtendremos un vector de bytes pero en esta ocasión estos no corresponden con los valores de los componentes de un píxel sino con la distancia del píxel al sensor.

Al tener 2 cámaras de infrarrojos cada píxel se corresponde con 2 bytes en el vector, siendo éstos el valor de la distancia de ese píxel a cada cámara. La organización de los píxeles es la misma que con la cámara *RGB*, los 2 primeros bytes es la distancia del píxel de la posición de arriba a la izquierda al sensor y los 2 últimos son del píxel de abajo a la derecha, como se presenta en la ilustración N. 5.

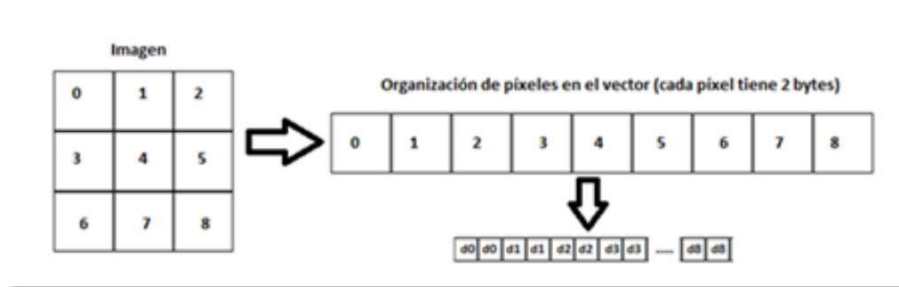
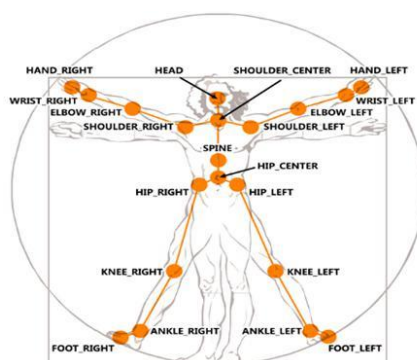


Ilustración 5 Funcionamiento de los bytes en la cámara de profundidad. Tomado de: [8]

2.1.2 Skeleton Tracking

El Skeleton Tracking [9], es una funcionalidad que logra identificar ciertas partes del cuerpo de las personas encontradas en el campo de visión del sensor, el cual está basado en un algoritmo. Obteniendo de esta funcionalidad puntos que referencian diferentes partes del cuerpo. Cada una de ellas es abstraída como una coordenada 3D o articulación. Un conjunto de articulaciones forman un esqueleto virtual para cada imagen de profundidad de Kinect, es decir, se obtienen 30 esqueletos por segundo. Las articulaciones generadas varían de acuerdo a la biblioteca del Kinect que se utilice. En OpenNI/NITE⁷, cada esqueleto está formado por 15 articulaciones = { , , } con > 0 cuyas coordenadas se encuentran expresadas en milímetros con respecto a la posición de Kinect. En el SDK de Microsoft y en la consola Xbox se añaden 5 articulaciones (los tobillos, las muñecas y el centro de la cadera) [10].



Microsoft Research
Kinect for Windows® SDK beta
Ilustración 6 Skeleton Tracking. Tomado de⁸

Por otra parte el dispositivo Kinect es capaz de reconocer cuando una persona se encuentra sentada o parada y de esta forma el Skeleton Tracking reconoce diferentes articulaciones, por ejemplo, si la persona se encuentra de pie puede reconocer 20 articulaciones, a diferencia de cuando se encuentra sentada, tan solo reconoce 10 Como se muestra en la Ilustración N.7.

⁷ **OpenNI/NITE.** Natural Interaction Middleware, es el más avanzado y robusto middleware de visión disponible en la actualidad, el cual cuenta con un host reducido, una carga mínima de la CPU y un soporte multiplataforma.

⁸ <https://blogs.msdn.microsoft.com/esmsdn/2011/08/09/reto-sdk-de-kinect-detectar-posturas-con-skeletal-tracking/>

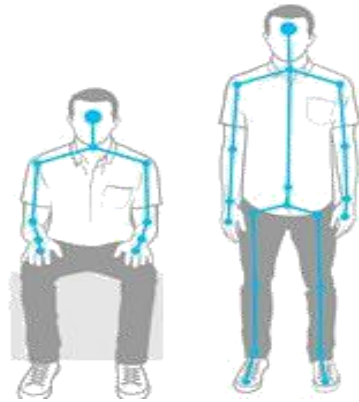


Ilustración 7 Posturas del Kinect. Tomado de⁹

La detección y el seguimiento del usuario, se lleva a cabo por medio de la cámara de profundidad cuyas etapas se presentan en la ilustración N. 8. Cuando se adquieren datos a través de la cámara de profundidad, es decir, la imagen con la información de la distancia de los objetos o del usuario, es analizada para extraer información que esté relacionada con el usuario, su posición y la pose realizada. El sensor contiene dentro de su software un algoritmo de detección que consiste en dividir el cuerpo del usuario en 31 partes que son reconocidas en un plano tridimensional.

Las imágenes de profundidad proporcionan mayor calidad en condiciones ambientales ligeras, es decir, en espacios en donde la luz solar no afecta de forma directa. Para segmentar la imagen del cuerpo del usuario se utiliza un clasificador de imágenes, cuyo algoritmo está basado en un árbol de decisiones. Este algoritmo utiliza una base de datos con una similar que contiene aproximadamente 100000 poses para cada imagen. Para establecer la decisión de que imagen corresponde a la imagen del usuario se establecen diferentes características. Las características están definidas como una función (x, y) que define una imagen I y una posición x , además de un parámetro θ que describe las características de la imagen dentro del espacio tridimensional. A través de estas características, el algoritmo detecta que imagen se asemeja a la imagen almacenada dentro de la base de datos, del cual el sensor obtiene articulaciones o puntos específicos del cuerpo del usuario [10].

Para obtener las articulaciones del cuerpo del usuario se llevan a cabo tres pasos:

- ☐ Un estimador de densidad por cada parte del cuerpo del usuario, basado en la probabilidad de la superficie del área de cada pixel
- ☐ Técnica para encontrar eficiencia en la densidad
- ☐ Algoritmo que obtiene la aproximada localización de los puntos o articulaciones

⁹ <https://blogs.msdn.microsoft.com/juank/2013/03/12/programar-en-k4w-kinect-for-windows/>

La detección de articulaciones tiene una precisión alta la cual es de un 91,4% de probabilidad de ser localizados correctamente dentro del plano tridimensional.

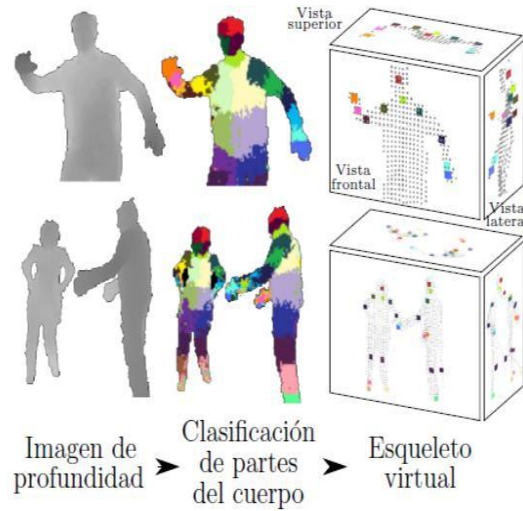


Ilustración 8 Rastreo del esqueleto con imágenes de profundidad. Tomado de: [10]

La técnica de rastreo del esqueleto inicia tomando una sola imagen de profundidad de Kinect (de 640 X 480 píxeles). Para clasificar un pixel x de la imagen de entrada, se comienza en la raíz de un árbol del clasificador y se evalúa repetitivamente según la ecuación 1 (que permite saber si un pixel x está cerca o lejos de Kinect) para seguir la rama izquierda o derecha de acuerdo al umbral τ en el nodo. Si la ruta conduce a un nodo hoja, se sabe que el pixel x pertenece a la parte C_i del cuerpo.

Para cada pixel x de la imagen de entrada, la característica f se calcula con

$$f(x) = \frac{1}{2} + \left(\frac{z(x)}{z_{max}} \right) - 2 \left(\frac{z(x)}{z_{max}} \right)$$

Ecuación 1 Característica f para cada pixel x de la imagen de entrada. Tomada de: [10]

Donde $z(x)$ es la profundidad del pixel x y los parámetros (z_{max}, z_{min}) son desplazamientos en coordenadas globales que al normalizarse por $1/2(z_{max} - z_{min})$ permiten que la característica sea invariante a la profundidad y a la traslación en el espacio tridimensional.

2.1.3 Librerías para el uso del Kinect

Microsoft Windows SDK

El **Microsoft Windows SDK**[11] (Software Development Kit) es un kit de desarrollo de software de Microsoft que contiene archivos de cabecera, bibliotecas, muestras, documentación y herramientas que utilizan las API necesarias para desarrollar aplicaciones para Microsoft Windows y .NET Framework 3.0/.NET Framework 3.5. El actual Windows SDK se puede utilizar para escribir aplicaciones que se dirigen a Windows XP y Windows Server 2003, así como Windows Vista y Windows Server 2008, mientras que el más antiguo Platform SDK puede ser utilizado para desarrollar aplicaciones para Windows 2000, Windows XP y Windows Server 2003. El Windows SDK sustituye al Platform SDK, al WinFX SDK y al .NET Framework 2.0 SDK. El paquete contiene amplia documentación y cerca de 1000 ejemplos. A pesar de que el propio SDK está disponible de forma gratuita, la obtención de los SDK requiere que la copia de Windows esté validada.

SDK

El SDK[10] para el Kinect de Windows, es un framework desarrollado por la empresa PrimeSense¹⁰ que ofrece gran facilidad para el desarrollo de aplicaciones utilizando el sensor Kinect. Este SDK ofrece la manipulación de la mayoría de los dispositivos de hardware del Kinect, siendo esta compatible con la librería NITE de PrimeSense que contiene algoritmos para el procesamiento de imágenes, detección y seguimiento de individuos. Los lenguajes utilizados por el SDK son C#, C++ y las herramientas Matlab¹¹ y Labview¹².

El SDK incluye:

- ☐ Drivers para usar Kinect con Windows
- ☐ API's, interfaces de los dispositivos con documentación para desarrolladores
- ☐ Ejemplos de código de fuente, como lo indica la ilustración N. 9.

¹⁰ **PrimeSense** Era una compañía de detección 3D israelí, era reconocida por licenciar el diseño de hardware y de chips usados para la detección de movimiento en el Kinect de Microsoft para Xbox 360 en 2010.

¹¹ **Matlab** es una herramienta de software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio (lenguaje M).

¹² **LabVIEW** es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico.

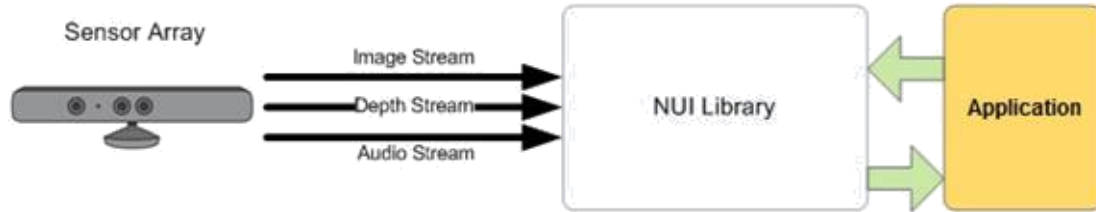


Ilustración 9 Interacción del softwares y el hardware con la aplicación. Tomado de: [10]

Kinect Developer Toolkit

El kinect para Windows Developer toolkit [12] contiene información actualizada y ejemplos de código fuente, Kinect Fusion, Kinect Interactions, Kinect Studio y otros recursos que simplifican el desarrollo de aplicaciones usando el dispositivo Kinect

iTextSharp

iTextSharp[13] es una librería, de código abierto (open source) y específicamente para .Net, que nos permite crear y modificar documentos PDF. Sirve para manipular archivos PDF, RTF, y HTML en Java y C. Esta librería es capaz de rellenar formularios, mover páginas de un PDF a otro, y otras cosas. Estas extensiones son a menudo mutuamente excluyentes. Una clase te permite rellenar en formularios, mientras una clase diferente e incompatible hace posible copiar páginas de un PDF a otro.

El soporte de PDF de iText es, sin embargo, bastante extensivo. Esto soporta firmas basadas en PKI de PDF, cifrado de 40-bit y 128-bit, corrección de colores, PDF/X, gestión de colores por perfiles ICC, y es anfitriona de otras características.

2.1.4 Entorno de desarrollo

Visual Studio

Visual Studio [14] es un conjunto de herramientas y otras tecnologías de desarrollo de software basado en componentes para crear aplicaciones eficaces y de alto rendimiento. Es un entorno de desarrollo integrado (IDE, por sus siglas en inglés) para sistemas operativos Windows. Soporta múltiples lenguajes de programación tales como C++, C#, Visual Basic .NET, F#, Java, Python, Ruby, PHP; al igual que entornos de desarrollo web como ASP, NET, MVC, Django, entre otros.

Visual Studio permite a los desarrolladores crear sitios y aplicaciones web, así como servicios web en cualquier entorno que soporte la plataforma .NET (a partir de la versión .NET 2002). Así se pueden crear aplicaciones que se comuniquen entre estaciones de trabajo, páginas web, dispositivos móviles, dispositivos embebidos, consolas, etc.

2.2 Marco Conceptual

2.2.1 Coreografía [15]: es el arte y la técnica de componer y dirigir bailes o danzas, siendo un conjunto pautado de pasos, figuras y movimientos de un baile o una danza. Representación de una idea por medio de unas exigencias corporales mayor como las de realizar un salto o alguna maniobra, donde intervienen dos o varias personas. Son figuras donde un compañero de baile ocasionalmente deja el piso completamente, con un soporte constante de otro compañero de baile.

2.2.2 Danza [16]: Ejecución de movimientos al ritmo de la música, que permite expresar sentimiento y emociones.

2.2.3 Elongación [17]: es el alargamiento de un músculo, asociado principalmente con la ejercitación física.

2.2.4 Empeine (pie) [18]: parte superior del pie, ubicada entre la caña de la pierna y el principio de los dedos, además es una posición utilizada por bailarines.

2.2.5 Matching [19]: Cuando se habla de Matching entre dos imágenes, lo que se persigue es calcular un valor que represente el grado de similitud entre ellas (error).

2.2.6 Middleware [20]: software de computadora que conecta componentes de software o aplicaciones para que puedan intercambiar datos entre éstas. Utilizado para soportar aplicaciones distribuidas.

2.2.7 Odometría visual [21]: proceso mediante el cual se determina la posición y la orientación de una cámara o de un sistema de cámaras por medio del análisis de una secuencia de imágenes adquiridas, sin ningún conocimiento previo del entorno.

2.2.8 Split [22]: apertura de piernas, es una posición física en la cual las piernas están alineadas una con la otra y están extendidas en direcciones opuestas formando un ángulo de 180°.

2.2.9 Windows Presentation Foundation [23]: proporciona un modelo de programación unificado, para crear modernas aplicaciones de escritorio empresariales en Windows, que permite el desarrollo de interfaces de interacción en Windows.

2.3 Estado del arte

Poco a poco se logra poner en manos del desarrollo de software y de la computación aquellos procesos que eran o que son controlados de forma manual, con excepción de algunas disciplinas que son más del contacto humano y es difícil su implementación por medio de las disciplinas de la computación. El uso de hardware como herramientas de apoyo puede producir que diversos procesos sean más sencillos de implementar y además de ser más interactivos para el usuario.

El Kinect permite realizar captura de movimiento (MoCap) en un formato estándar BioVisionHierarchical (bvh) [24] que puede ser usado posteriormente en un software diseñado para el análisis biomecánico. Según avanza la tecnología van surgiendo mejores herramientas que aportan al usuario una manera natural de comunicación con la máquina, una Interfaz de Usuario Natural (Natural User Interface o NUI). Es así como existen diversos trabajos que hacen el uso de la herramienta kinect de la siguiente manera.

Según Marco Luis García[21], en su proyecto de odometría visual aplicada a la localización de un robot con Kinect en interiores, permite medir la precisión de la odometría o la estimación de posiciones visual en interiores a través de sensores de profundidad utilizando modelos matemáticos y cálculos un poco complejos. De las características que posee el kinect, se puede aplicar para la robótica móvil, los sensores compactos y ligeros que proporciona imágenes RGB-D, frecuencias de trabajo de 30 HZ, un rango de trabajo desde 1.2 hasta 3.5 metros.

Según Lucia Vera, Jesús Gimeno, Inmaculada Coma, Marcos Fernández [25] en su trabajo de fin de grado: "Espejo aumentado: sistema interactivo de realidad aumentada basado en kinect", presenta un sistema basado en la realidad aumentada que permite conversar a un personaje virtual controlado por un actor en tiempo real con el público asistente a través de una pantalla de gran formato a modo de espejo aumentado. El sistema integra imágenes de vídeo reales con las imágenes virtuales del avatar y otros objetos animados incorporados como apoyo a la conversación. Para su implementación hemos optado por la exploración y combinación de tecnologías: dos sistemas kinect para captura de movimientos corporales, mapa de profundidad e imágenes reales, un giróscopo para detección de movimiento de la cabeza y algoritmos de control para gestionar las expresiones y emociones del avatar.

Es así como el desarrollo de software y el uso de una herramienta tan completa como lo es el kinect, se puede aplicar en la optimización de procesos mecánicos, para así aumentar su nivel de calidad.

Siendo la danza un tema poco tratado en el desarrollo de software, es un reto importante lograr plasmar aquellas técnicas que se deben de realizar para llevar a cabo una figura acrobática.

Sin embargo, se han desarrollado aplicaciones para la creación de coreografías como es el "Lifeforms" o su nueva versión "DANCEFORMS" [26], que junto con un equipo de desarrollo, Merce Cunningham, uno de los coreógrafos contemporáneos más importantes, combinaron la danza y las nuevas tecnologías, para permitir a creadores de danza y a profesores desarrollar, editar y visualizar secuencias de danza en un entorno amigable, permitiendo llevar un análisis de estas sucesiones para explicar anatómicamente en el cuerpo [27], visualiza y organiza pasos de bailes o rutinas completas en un ambiente 3D. Aunque

existe este tipo de software, adquirirlo es un poco difícil, existe una versión que se puede utilizar gratis por un tiempo limitado de veinte (20) días [28]. Se pueden identificar casos donde la tecnología aporta a la creación artística, en su forma de pensarla y abona a la expansión del universo creativo. Interacciones con el público, captures de sonido y movimiento, realidad virtual e internet, son algunas formas desde donde la danza se observa y reflexiona. [3].

3. DESARROLLO DEL PROYECTO

Para esta fase se usó de la metodología ágil Unified Process (AUP) [29] o su equivalente en español como Proceso Unificado Ágil, de la cual se logra obtener una metodología de software que integra conceptos tradicionales bajo técnicas ágiles. La AUP es una versión simplificada del Proceso Unificado de Rational o RUP, de donde se utilizó el levantamiento de requerimientos en lugar de historias de usuarios, debido a que se ajustan a las necesidades del proyecto, lo que permite que la interacción del usuario y la aplicación como tal, se limita a dos funciones del cual se hizo necesario hacer especificaciones de requerimientos del sistema.

3.1 ANÁLISIS

La etapa de análisis se divide en dos subetapas, de las cuales, la primera consiste en el análisis de la figura acrobática que se estudió en el desarrollo del proyecto y las características de las mismas y la segunda en el levantamiento de requerimientos del sistema.

3.1.1 Figuras acrobáticas

Para la primera etapa, se identificó la figura acrobática en la que se enfocó el desarrollo del trabajo de grado, además se estudiaron las diferentes partes del cuerpo involucradas en ella, de los cuales, se realizó una medición aproximada de ángulos entre puntos previamente definidos, basados en una de las funcionalidades del sensor kinect, que es el seguimiento del esqueleto o Skeleton Tracking.

En la ilustración N. 10, se evidencia la figura acrobática a la cual se realizó el respectivo seguimiento. La elección de esta figura fue debido a que no requiere de un estricto manejo del cuerpo por parte de los involucrados permitiendo que la figura y su visualización sean agradables sin estar restringida a una realización exacta de ella, considerado por el experto en danzas Gustavo Adolfo Ramírez Ruiz¹³. Dicha elección, según el experto, la figura acrobática permite tener una holgura de aceptación de 12 grados en cada ángulo de esta. Este valor se determina por la estética de la figura a la hora de la realización de la figura, teniendo en cuenta criterios como: el empeine de los pies, el split de la mujer, la elongación del cuerpo de la mujer, la postura que tanto el hombre como la mujer deben de tener.

¹³ Gustavo Adolfo Ramírez Ruiz, graduado del Instituto Departamental de Bellas Artes con el título de Técnico en Danzas, actual docente en danzas y fundador de la Asociación de baile Corpumentdanz.



Ilustración 10 Figura acrobática

Posteriormente con la orientación y aval del experto, se realizó la postura a estudiar correctamente y a partir de allí, se capturó tres fotografías como se muestra en la ilustración N. 11, además se estimaron características que representan una información aproximada de esta, enfocándose en doce (12) articulaciones situados en las extremidades superiores e inferiores del cuerpo que son captadas por el sensor Kinect, según como se presenta en la ilustración N.12, después de identificar estas articulaciones, el análisis se centró en cuatro (4) puntos estratégicos y a sus respectivos ángulos. Estos puntos estratégicos surgen porque en muchas ocasiones al realizar posturas complejas, algunas de estas articulaciones tienden a perderse dentro de la imagen o a confundirse con otras, por ejemplo el sensor Kinect es capaz de detectar el tobillo y el pie como dos articulaciones diferentes, pero si se dobla la planta del pie de tal manera que la distancia del punto del pie al del tobillo sea cercana a cero (0), el Kinect tiende a tomar estos dos (2) puntos como uno solo y por tal motivo si en el cálculo de algún ángulo interviene el punto del pie, el cálculo se verá afectado y lo más seguro es que de resultados erróneos.

Además, estos ángulos, fueron calculados con el apoyo de la herramienta computacional Geogebra. Según el experto en danzas Gustavo Adolfo Ramírez Ruiz los ángulos seleccionados pertenecen a las partes del cuerpo más utilizadas al momento de realizar una figura acrobática.



Ilustración 11 Sección fotográfica

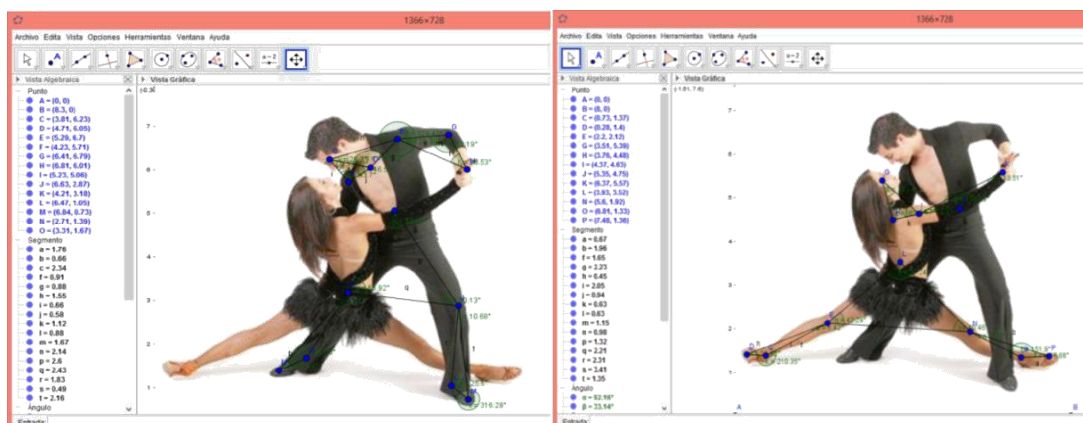


Ilustración 12 Triangularización y toma de ángulos

Después de la triangularización respectiva a estas doce articulaciones en cada una de las tres fotografías, se calcula los ángulos que se forman en los cuatro puntos estratégicos, cuyo proceso se detalla posteriormente en el modelo matemático y se realiza un promedio de ellos para así obtener un solo resultado, a partir de allí se creará el modelo de datos, cuya estructura se evidencia posteriormente en el documento.

En general, la ilustración N. 13, muestra detalladamente los ángulos que se van a calcular por medio de la aplicación

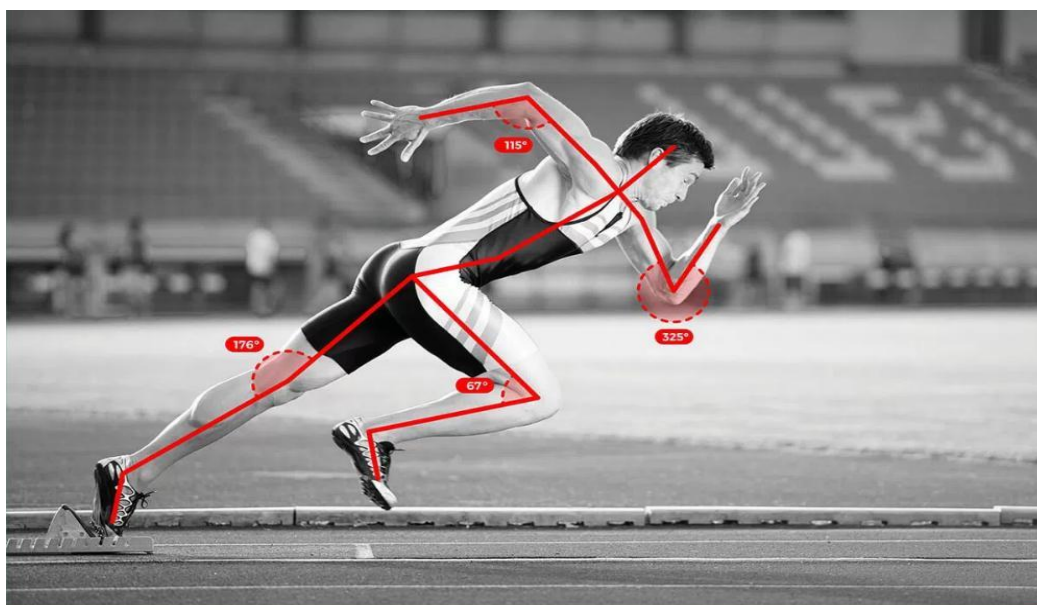


Ilustración 13 Puntos estratégicos. Tomado de¹⁴

¹⁴ <http://vitruviuskinect.com/>

A partir del proceso anteriormente descrito, se obtuvieron los siguientes datos que se muestran en la tabla N.1

Tabla 2 Representación de la triangularización de los ángulos en la mujer

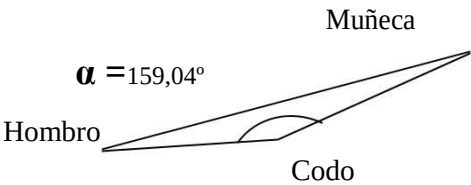
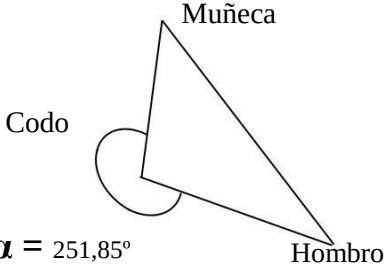
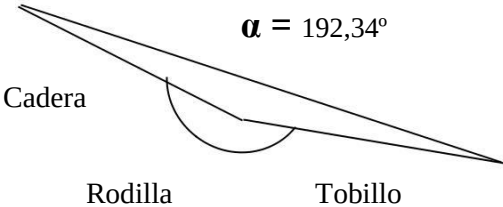
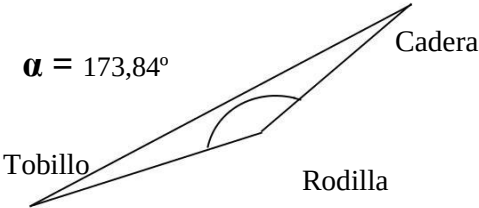
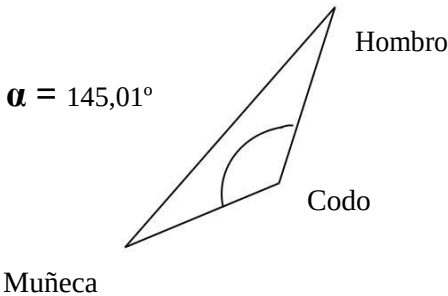
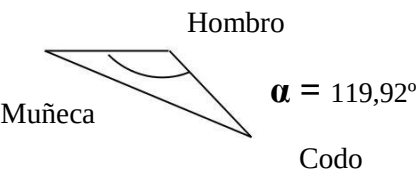
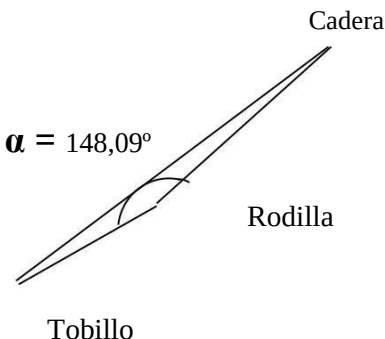
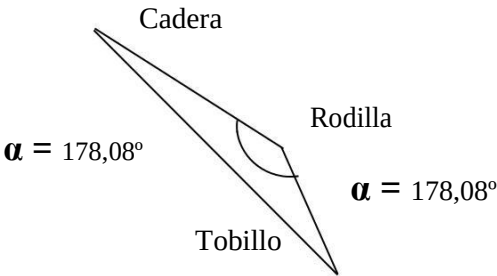
Persona	Ángulo	Representación
Mujer	Hombro-Codo-Muñeca Derecha $\alpha = 159,04^\circ$	
	Hombro-Codo-Muñeca Izquierda $\alpha = 251,85^\circ$	
	Cadera-Rodilla-Tobillo Derecho $\alpha = 192,34^\circ$	
	Cadera-Rodilla-Tobillo Derecho $\alpha = 173,84^\circ$	

Tabla 3 Representación de la triangularización de los ángulos en el hombre

Persona	Ángulo	Representación
Hombre	Hombro-Codo-Muñeca Derecho $\alpha = 145,01^\circ$	
	Hombro-Codo-Muñeca Izquierdo $\alpha = 119,92^\circ$	
	Cadera-Rodilla-Tobillo- Pie Derecha $\alpha = 148,09^\circ$	
	Cadera-Rodilla-Tobillo Izquierdo $\alpha = 178,08^\circ$	

3.1.2 Modelamiento matemático

El modelamiento general del aplicativo parte del uso de un dispositivo que permite la interacción de movimientos gestuales del usuario y el sistema. Es así que mediante el Skeleton Tracking se puede reconocer a los usuarios y seguir cada una de sus acciones obteniendo diecinueve (19) huesos y veinte (20) articulaciones como se puede observar en la ilustración N. 14

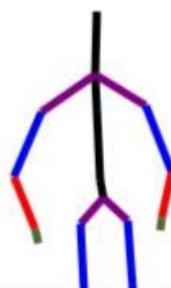


Ilustración 14 Captación del esqueleto

A partir del reconocimiento y la unión de los diferentes huesos y articulaciones, se puede observar una formación de ángulos, los cuales se toman como referencia para una posterior comparación y evaluación aplicando conceptos de álgebra lineal. La ilustración N. 15 muestra cómo se forma un ángulo entre articulaciones captadas por el sensor Kinect.

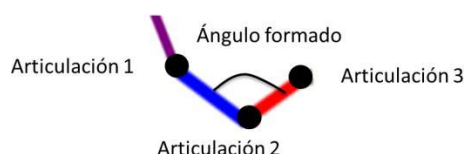


Ilustración 15 Formación de ángulo

La técnica de medición de ángulos utilizada, se basó en conceptos de álgebra lineal, debido a que el aplicativo puede ser utilizado por personas que tienen diferente textura corporal, es decir, tienen una altura o un tamaño distinto en su esqueleto, cuando se trabaja con ángulos independientemente de la distancia entre las coordenadas obtenidas, el resultado de este no varía [30].

Teniendo en cuenta la ilustración N. 15 y con base en la información anterior, se determinó una sucesión de pasos a seguir para el cálculo de los ángulos utilizando los conceptos matemáticos de álgebra lineal, los cuales son los siguientes:

Paso N. 1

Inicialmente se obtienen las coordenadas de tres articulaciones

$$\text{Articulaci3n}_1 = \{X_1, Y_1, Z_1\}$$

$$\text{Articulaci3n}_2 = \{X_2, Y_2, Z_2\}$$

$$\text{Articulaci3n}_3 = \{X_3, Y_3, Z_3\}$$

Donde $X_1, Y_1, Z_1, X_2, Y_2, Z_2, X_3, Y_3, Z_3$ corresponden a un punto en el plano tridimensional.

Paso N.2

Se hallan dos vectores: calculando la diferencia entre cada uno de los ejes del plano. Tomando como referencia del Vector_1 , la Articulaci3n_1 y la Articulaci3n_2 y para el Vector_2 , la Articulaci3n_2 y la Articulaci3n_3 .

$$\mathbf{V}_1 = \{X_1 - X_2, Y_1 - Y_2, Z_1 - Z_2\}$$

$$\mathbf{V}_2 = \{X_2 - X_3, Y_2 - Y_3, Z_2 - Z_3\}$$

Paso 3

Se halla la magnitud y la norma entre los vectores, donde la magnitud se halla elevando el resultado al cuadrado y sacar su raíz.

$$|\mathbf{V}_1| = \sqrt{1 * 1 + 1 * 1 + 1 * 1}$$

$$|\mathbf{V}_2| = \sqrt{1 * 1 + 1 * 1 + 1 * 1}$$

Ecuaci3n 2 Ecuaci3n de magnitud de un vector

$$\|\mathbf{V}_1\| = \sqrt{1^2 + 1^2 + 1^2}$$

$$\|\mathbf{V}_2\| = \sqrt{1^2 + 1^2 + 1^2}$$

Ecuaci3n 3 Ecuaci3n de la norma de un vector

Paso N. 4

A partir del paso anterior, se obtiene el producto punto.

$$\text{Resultado} = ||V_{1x}|| * ||V_{2x}|| + ||V_{1y}|| * ||V_{2y}|| + ||V_{1z}|| * ||V_{2z}||$$

Ecuaci3n 4 Producto punto

Paso N.5

Por 3ltimo se obtiene el 3ngulo que se requiere calcular

$$= \cos^{-1} \left(\frac{||\mathbf{V}_1|| * ||\mathbf{V}_2||}{\text{Resultado}} \right) \frac{180}{\pi}$$

Ecuaci3n 5 3ngulo resultante

3.1.3 Requerimientos funcionales

La segunda subetapa del análisis describe el comportamiento como tal del sistema de la siguiente manera.

- ☐ **Requerimiento 1:** El sistema debe tener almacenado el modelo que contiene la información de los ángulos de la figura a realizar, para realizar una posterior comparación con la figura captada por el kinect.
- ☐ **Requerimiento 2:** El sistema debe permitir al usuario almacenar los resultados de los ángulos obtenidos por el kinect.
- ☐ **Requerimiento 3:** El sistema debe permitir al usuario ingresar un margen de holgura que puede tener la realización de la figura, el cual será en grados.
- ☐ **Requerimiento 4:** El sistema debe permitir al usuario cargar y visualizar la imagen de la figura acrobática que posteriormente realizará.
- ☐ **Requerimiento 5:** El sistema debe permitir informarle al usuario de la correcta detección e inicialización del dispositivo Kinect.
- ☐ **Requerimiento 7:** El sistema debe permitir identificar y visualizar el esqueleto de dos individuos.
- ☐ **Requerimiento 8:** El sistema debe permitir al usuario crear un modelo nuevo de la figura que él requiera.
- ☐ **Requerimiento 9:** El sistema debe validar que el Kinect se haya inicializado antes de crear un nuevo modelo.
- ☐ **Requerimiento 11:** El sistema debe permitir al usuario realizar la captura de la información de los esqueletos, con la realización de la figura acrobática correspondiente en tres diferentes intervalos de tiempo, los cuales se almacenaran independientemente.
- ☐ **Requerimiento 12:** El sistema debe de evaluar e indicarle al usuario si la figura es correcta o no.
- ☐ **Requerimiento 14:** El sistema debe permitir al usuario obtener los resultados de la evaluación realizada de la figura acrobática desde un documento pdf.

3.2 DISEÑO

La información que se muestra en esta sección, corresponde a los diseños que se realizaron en el desarrollo del proyecto.

3.2.1 Arquitectura

Para el presente proyecto se usó un patrón de diseño que permite dividir la aplicación en diferentes módulos, logrando una arquitectura más sólida y estable. El Modelo Vista Controlador (MVC) es un estilo de arquitectura de software que separa los datos de una aplicación, la interfaz de usuario, y la lógica de control en tres componentes distintos [31]. El Modelo contiene una representación de los datos que maneja el sistema, su lógica de negocio, y sus mecanismos de persistencia, la Vista, o interfaz de usuario contiene la información que se envía al cliente y los mecanismos interacción con éste y el Controlador, que actúa como intermediario entre el Modelo y la Vista, gestionando el flujo de información entre ellos y las transformaciones para adaptar los datos a las necesidades de cada uno. Por este motivo se decidió implementar el patrón de diseño Modelo Vista Controlador MVC. Esta arquitectura permite la escalabilidad de la aplicación, dando la posibilidad de que se pueda optimizar, ajustar y/o adaptar a diferentes funcionalidades sin mayor complejidad gracias a la organización modular en que fue programado como se observa en la ilustración N. 16, teniendo como resultado una aplicación más robusta.

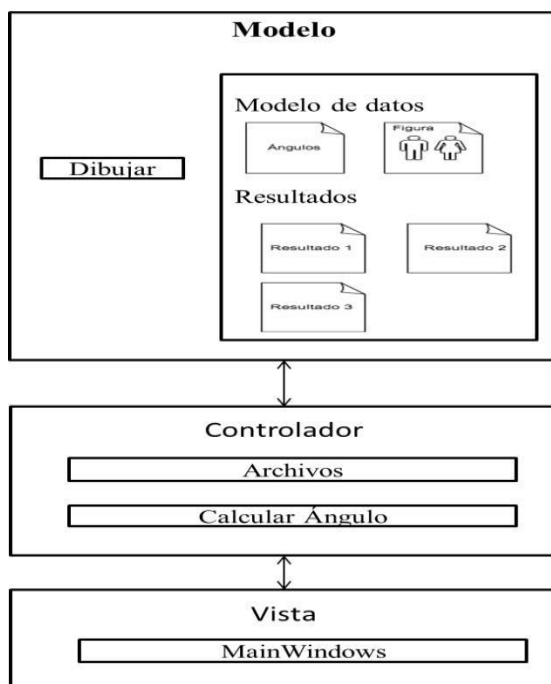


Ilustración 16 Arquitectura

3.2.2 Diagrama de componentes

En la ilustración N. 17 se muestra el diagrama de componentes, el cual proporciona una visión global de cómo interactúan cada uno de los componentes del sistema, además, se evidencia la división de los módulos en tres capas, Modelo, Vista y Controlador (MVC), observándose que cada uno de ellos es independiente pero a su vez permite utilizar funcionalidades de otro módulo o paquete, como es el caso del paquete de Microsoft.Kinect.

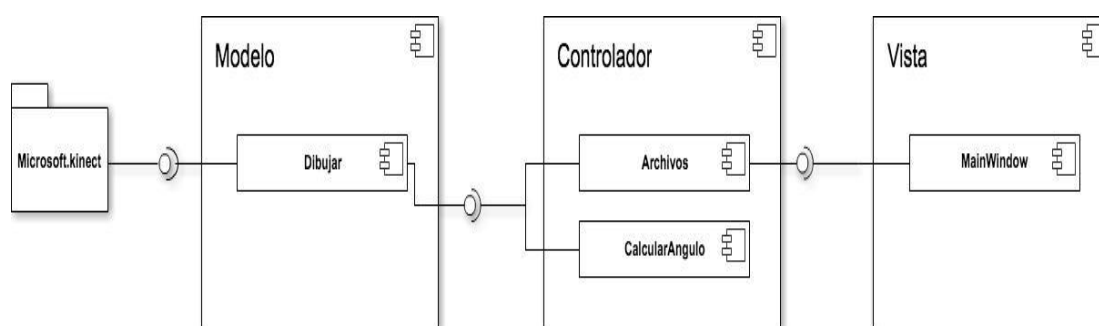


Ilustración 17 Diagrama de componentes

3.2.3 Diagrama de clases

La distribución de los módulos que componen la arquitectura del sistema se puede observar en la ilustración N. 18 mediante un diagrama conceptual que reemplaza al diagrama de clases, esto debido a tener una buena observación.

Esta distribución se hace de la siguiente manera: la primera capa Modelo contiene la clase Dibujar que es la encargada de iniciar el sensor Kinect dada la orden desde la capa vista, además se encarga de dibujar el esqueleto de las personas que son detectadas por el mismo. En la capa Controlador contiene las clases Archivo y CalcularÁngulo, la primera de ellas carga el modelo de datos, la imagen de la figura a realizar y crea los archivos donde se van a presentar los resultados obtenidos de los respectivos cálculos en un lapso de tiempo determinado. En la capa controlador se reciben los datos de las coordenadas que se obtienen de la clase Dibujar, de los cuales se calculan los ángulos y se retorna la información a la clase Archivos para que sea almacenada en cada uno archivo de texto previamente creado. Por último, la capa Vista muestra al usuario una interfaz gráfica que le permite controlar todas las acciones que se pueden realizar en la aplicación

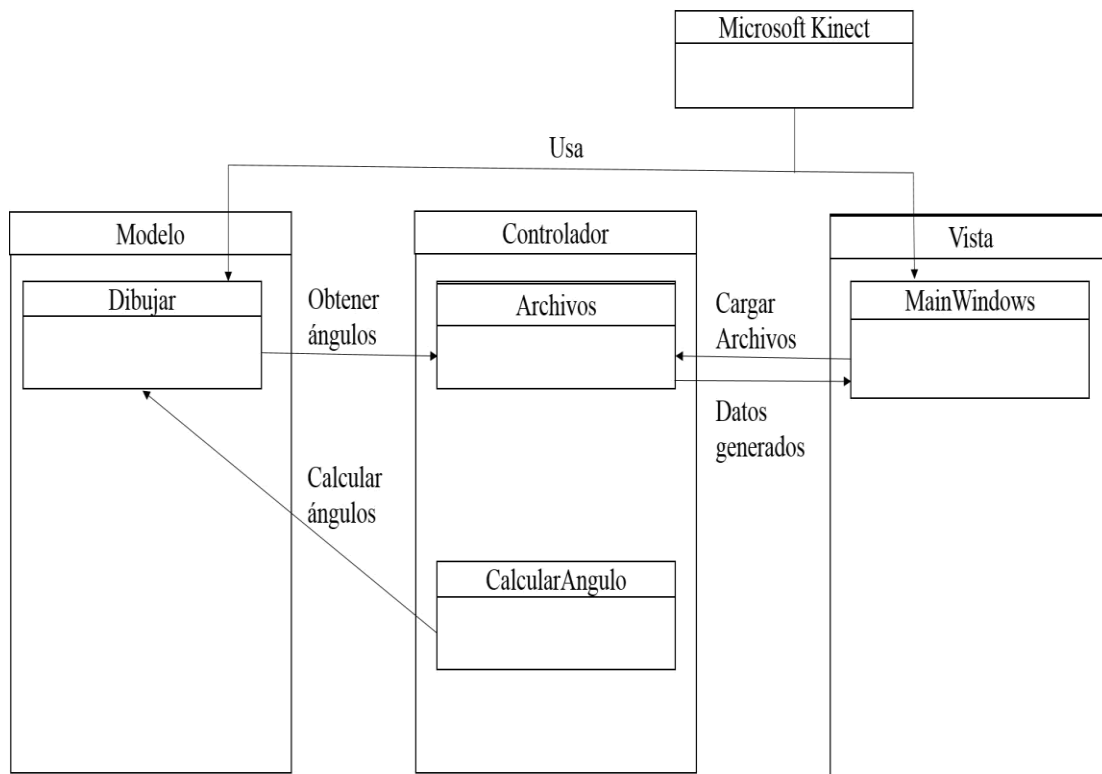


Ilustración 18 Diagrama Conceptual

3.2.4 Modelo de datos

Se tuvo la necesidad de emplear archivos para facilitar el proceso de evaluación de los resultados, que contienen un Modelo de Datos de los ángulos obtenidos de la figura acrobática y de los resultados de la evaluación. Este modelo consta de cuatro archivos "Modelo.txt" y "Resultados.txt". La primera línea corresponde a los ángulos del hombre, la segunda línea los ángulos de la mujer y en cada una de las líneas tienen cuatro números en el cual el primero corresponde al ángulo del codo derecho, el segundo al ángulo codo izquierdo, el tercero al ángulo de la rodilla derecha y el cuarto al ángulo de la rodilla izquierda, esta estructura se puede observar de manera más detallada en la ilustración N. 19.

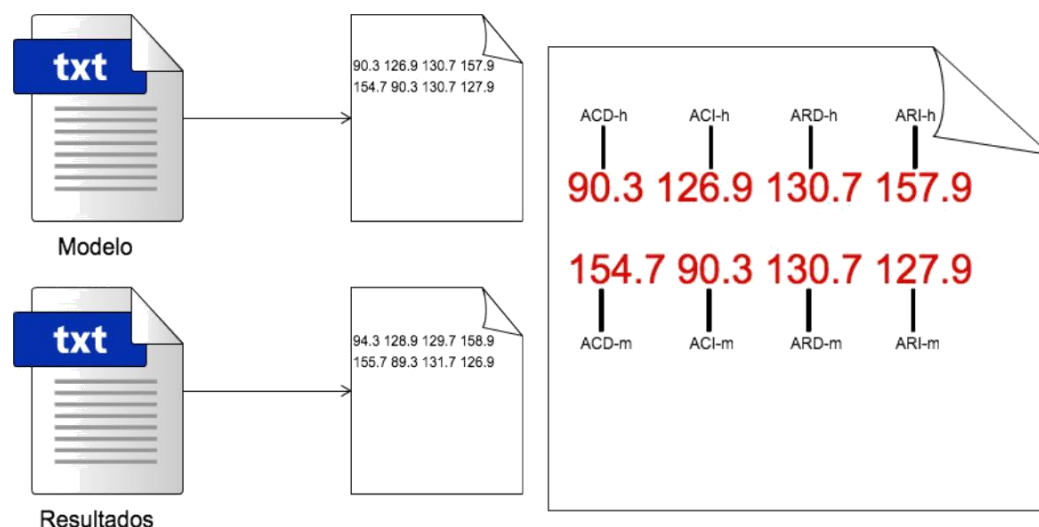


Ilustración 19 Estructura del modelo de datos

Donde:

Tabla 4 Siglas

Hombre	Mujer
ACD-h = ángulo codo derecho del hombre ACI-h = ángulo codo izquierdo del hombre ARD-h = ángulo rodilla derecha del hombre ARI-h = ángulo rodilla izquierda del hombre	ACD-m = ángulo codo derecho de la mujer ACI-m = ángulo codo izquierdo de la mujer ARD-m = ángulo rodilla derecha de la mujer ARI-m = ángulo rodilla izquierda mujer

En la primera línea del modelo se van a leer los ángulos previamente calculados del hombre y en la segunda línea los de la mujer, se leen de izquierda a derecha teniendo en cuenta que el primer dato se refiere al ángulo que se forma entre el codo derecho, el hombro derecho y la muñeca derecha, el segundo entre el codo izquierdo, el hombro izquierdo y la muñeca izquierda, el tercero entre la rodilla derecha, la cadera derecha y el tobillo derecho, por último el cuarto dato hace referencia al ángulo entre la rodilla izquierda, la cadera izquierda y el tobillo izquierdo. De la misma forma se escriben los tres archivos de resultados, pero con los ángulos que se están calculando al momento de evaluar la figura.

En la Ilustración N. 20 se muestra el flujo que lleva la aplicación con respecto a la lectura y escritura de los archivos.

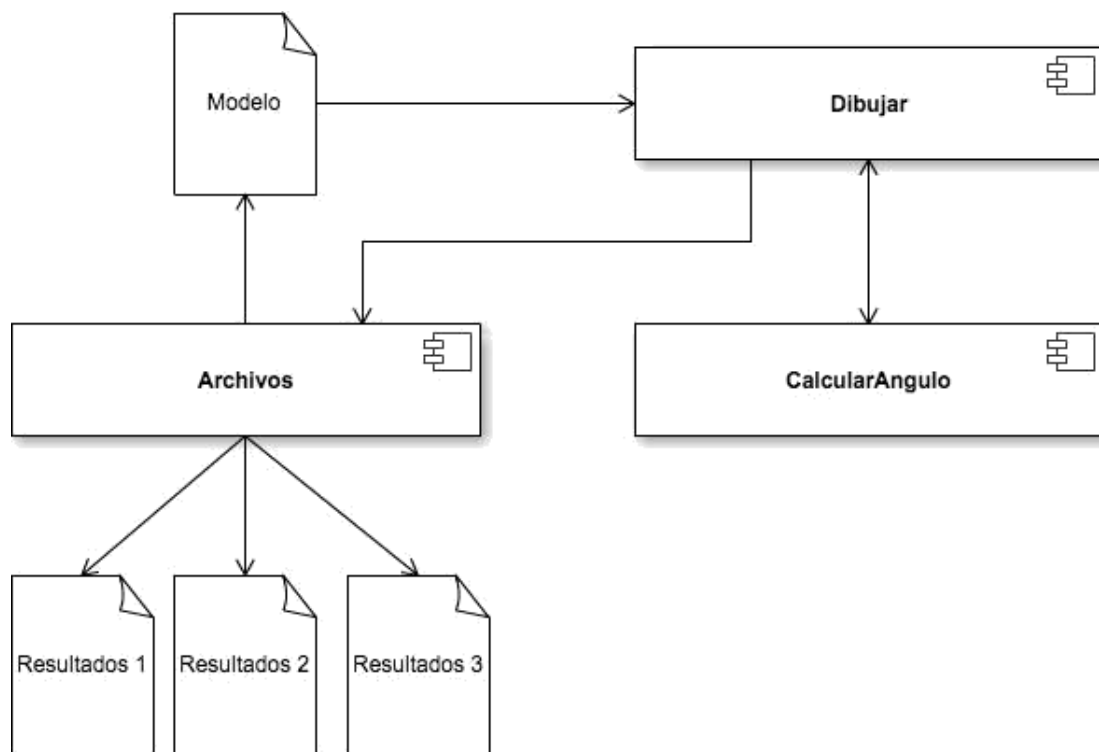


Ilustración 20 Diagrama de lectura y escritura de archivos

El modelo de datos anteriormente detallado permite a la aplicación ser dinámica y escalable, ya que se está basando en cuatro (4) puntos estratégicos que se pueden obtener de cada esqueleto detectado como se especifica posteriormente en el análisis de la figura acrobática (Sección N. 3.1.1).

Estos puntos estratégicos, permiten crear modelos y obtener características de cada figura que pueden ser evaluadas posteriormente, evitando recurrir a herramientas extras de apoyo para extraer el calculo de ángulos, como se realizó en el análisis por medio del software Geogebra. Por este motivo, se diseñó el modelo de datos que usa la aplicación, permitiendo realizar estos cálculos por medio de este.

3.3 IMPLEMENTACIÓN

En esta sección se hace mención al software y hardware utilizado en la implementación de la aplicación y el comportamiento de la misma.

3.3.1 Codificación

La aplicación se realizó en el sistema operativo Windows 10 con una arquitectura de 64 bits, fue escrita en el lenguaje C# y se codificó en el IDE Visual Studio 2012 de Microsoft, se hizo uso de la referencia Microsoft.Kinect. El programa se creó como una aplicación Windows Presentation Foundation (WPF), donde las referencias son las librerías que se pueden instalar en el sistema para posteriormente ser usadas en el proyecto. Para poder hacer uso de la referencia Microsoft.Kinect se instaló la herramienta KinectDeveloperToolkit en su versión 1.8.0, además se instaló el SDK de Windows para Kinect en la versión 1.8.

3.3.2 Instalación

La aplicación ejecutó en un computador Samsung con una arquitectura de 64 bits, con una memoria Ram de 4Gb y un procesador Intel Pentium a 1.7 Ghz. Para la detección de las personas se utilizó Kinect de Xbox versión 1, el cual se conecta a una toma de corriente para obtener la energía necesaria para encenderlo y por medio de un puerto USB se conectó al computador para la transmisión de datos. Para conocer el detalle completo de la instalación y ejecución de la aplicación diríjase al manual del usuario.

3.3.3 Comportamiento del sistema

En esta parte del documento se va a presentar el comportamiento de la aplicación y las etapas que la conforman. Cini se nyestra en la ilustración N. 21

- ☐ Cargar archivo modelo, el archivo puede crearlo el usuario manualmente o desde la aplicación.
- ☐ Cargar figura modelo, este paso es opcional ya que el usuario decide si la desea mostrar o no. La figura debe ser un archivo de imagen (jpg, png, bmp).
- ☐ Seleccionar la ruta donde se van a guardar los resultados y escribir el nombre del primer archivo.
- ☐ Escribir el margen de error de la figura.
- ☐ Iniciar el sensor Kinect.
- ☐ Capturar puntos de los esqueletos dibujados.

- Calcular los ángulos con los puntos capturados, este cálculo se realiza en diferentes instantes de tiempo.
- Escribir en los archivos de resultados los ángulos calculados.

Teniendo en cuenta de que se hacen las validaciones de las datas

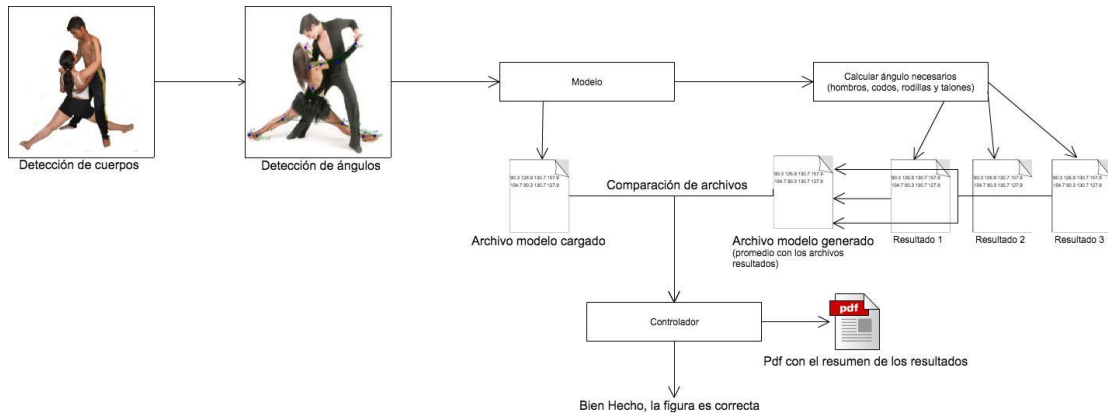


Ilustración 21 Comportamiento de la aplicación

□ Cargar archivo modelo

A continuación se detalla el proceso por el cual recorre el archivo modelo y el almacenamiento de los resultados que se evidencia mediante un diagrama de flujo en la ilustración N. 22.

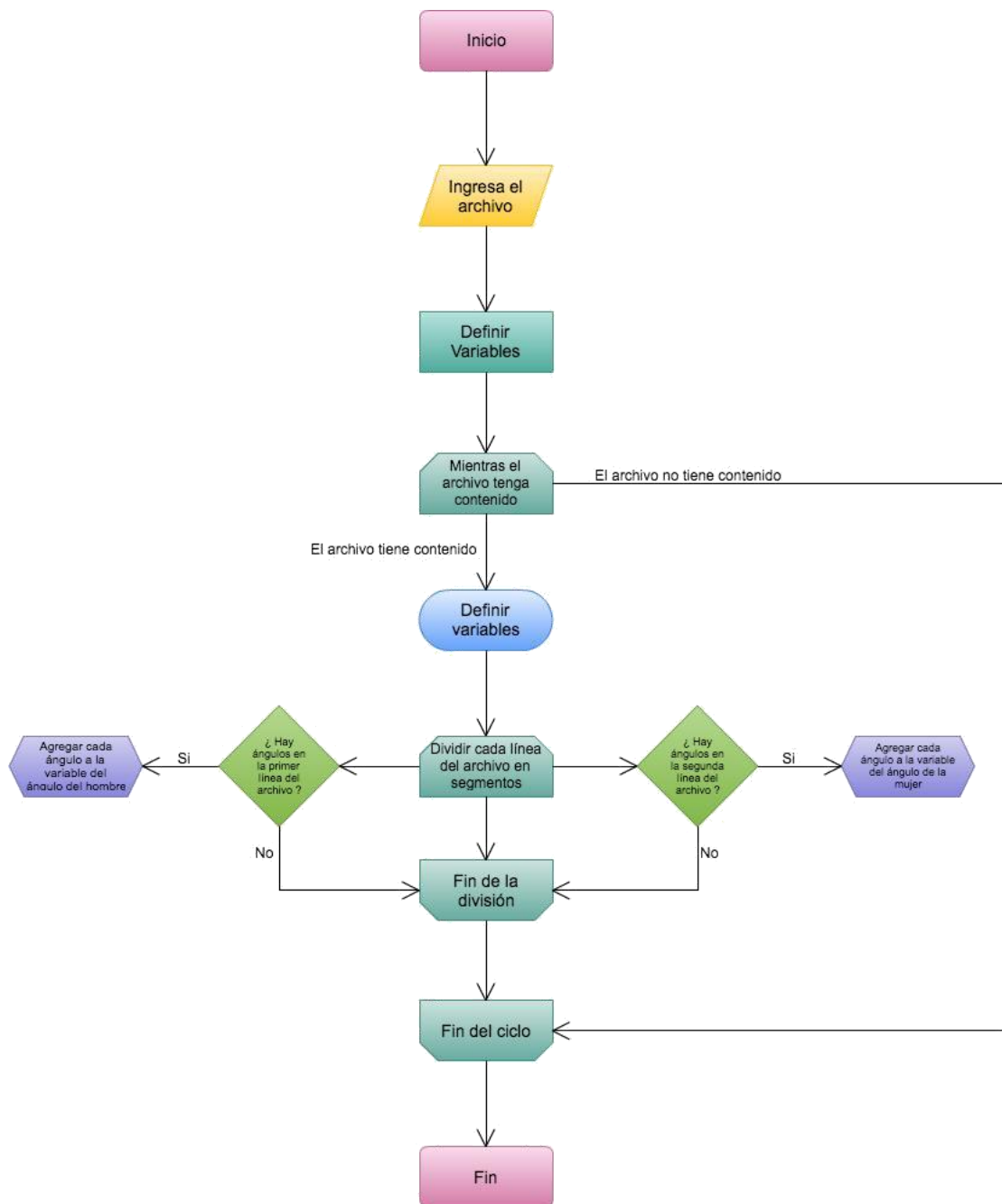


Ilustración 22 Flujo de de datos para cargar un archivo modelo modelo

Cuando el archivo modelo se ha generado exitosamente y se ha plasmado la información calculada, se puede cargar para que el programa continúe.

Es importante tener en cuenta que crear un archivo modelo y escribirlo desde la aplicación es una forma de extraer las características de la figura para posteriormente utilizar.

□ **Cargar figura modelo**

El programa permite cargar una imagen que servirá de modelo para mostrar a los bailarines cuál es la figura que van a realizar, la aplicación despliega una ventana de diálogo donde el usuario puede buscar el archivo de imagen y seleccionarlo para mostrarlo en un lugar de la interfaz destinado para tal fin.

□ **Seleccionar la ruta donde se van a guardar los resultados**

Cuando el usuario ya ha cargado el archivo modelo y la figura, el programa le indica que debe proceder a seleccionar una ruta donde se van a guardar los archivos con los resultados que se capturen, para tal fin cuando se da click en la opción “Seleccionar ruta” la aplicación despliega una ventana de diálogo donde le permite al usuario navegar por todo el sistema para que elija la ubicación donde se van a almacenar los archivos con cada resultado, además le permite escribir el nombre del primer archivo que se va a generar, validando que sea un documento de texto (txt).

En la ilustración N. 23 se puede observar con más detalle las opciones que el programa pone a disposición del usuario para facilitar el proceso de creación y guardado del primer archivo con resultados.

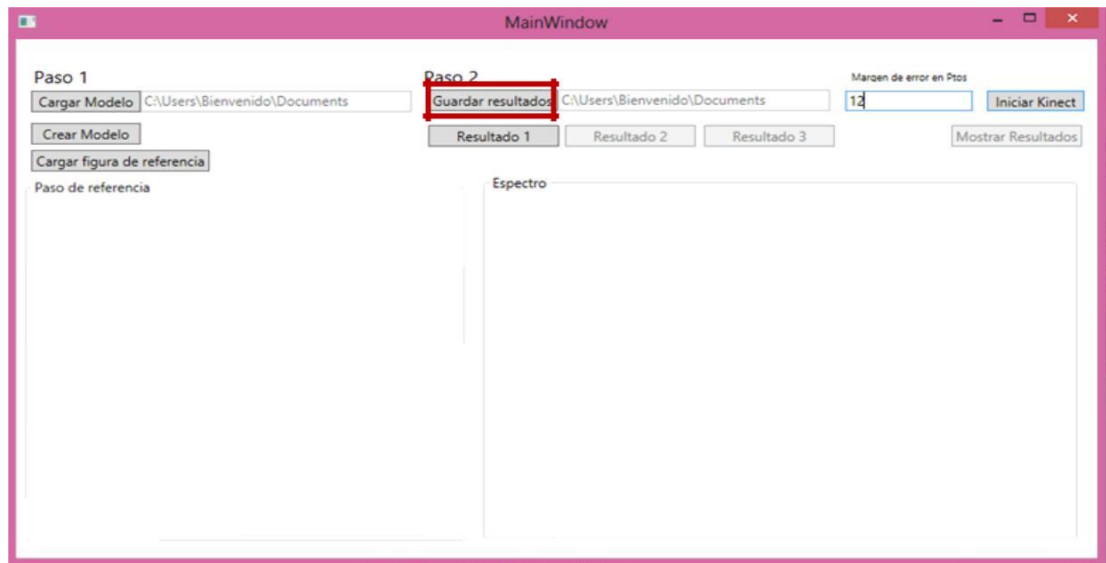


Ilustración 23 Seleccionar ruta donde se guardan los resultados

□ **Escribir el margen de holgura de la figura**

Para continuar con el proceso, el usuario debe ingresar un margen de error en un “TextBox”, el cual representa el grado de holgura que puede tener la figura acrobática a realizar.

□ **Iniciar el sensor Kinect**

Una vez se han configurado todos los pasos anteriormente mencionados, se procede a iniciar el sensor Kinect, para lo cual la interfaz habilita el botón “Iniciar Kinect”. Cuando el usuario presiona dicho botón se valida que el Kinect esté conectado a una toma de corriente e igualmente al puerto USB del computador, una vez validados todos los puntos entra en funcionamiento la clase Dibujar, la cual es la clase principal del sistema, ya que se encarga de inicializar todas las variables que se van a usar para capturar los bailarines y dibujar los esqueletos en la interfaz. Esta clase está todo el tiempo capturando información ya que debe detectar cuando un bailarín ingresa en la zona de detección, (la cual se especifica en la sección 2.1.3).

□ **Capturar puntos de los esqueletos dibujados**

Cuando se detectan los esqueletos y se dibujan las articulaciones, la aplicación está lista para empezar a realizar cálculos con base a los puntos detectados.

En la clase Dibujar se hace uso de un arreglo esqueletos de tipo “Skeleton”, el cual se encuentra en la referencia Microsoft.kinect y que por defecto tiene seis (6) posiciones en las que se van a almacenar los esqueletos detectados, por tal motivo la forma de ingresar los bailarines a la zona de detección es de uno en uno y de esta forma poder identificar el primer y segundo esqueleto que ingresa. Para garantizar que se conserve la estructura del modelo de datos (primera línea hombre y segunda línea mujer) debe primero ingresar el bailarín hombre y posteriormente ingresar la mujer, de esta forma cuando se ingresa el primer esqueleto al arreglo se le asignan las variables correspondientes a los ángulos del hombre y de la misma manera se realiza el procedimiento para la mujer cuando ingresa el segundo esqueleto.

Para obtener la información de cada esqueleto se crea un arreglo donde la referencia (librería) agrega cada dato que se va detectando, pero lo guarda en un lugar aleatorio y con un Id igualmente aleatorio. A continuación se muestra con mayor detalle el proceso que lleva a cabo la referencia los esqueletos en el arreglo, en la clase Dibujar se crea un arreglo esqueletos que es de tipo Skeleton.

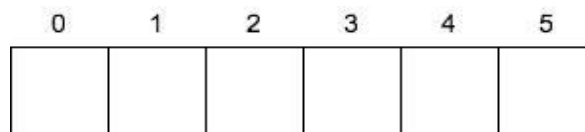


Ilustración 24 Creación del arreglo de esqueletos

Cuando se detecta el primer esqueleto, se guarda en una posición en el arreglo esqueletos con un Id, a ambos se les asigna un número aleatorio.

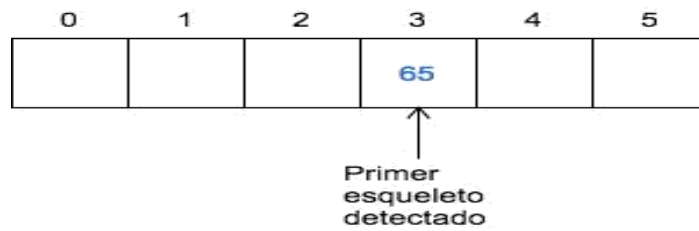


Ilustración 25 Detección del primer esqueleto

Cuando se detecta el segundo esqueleto se repite el procedimiento.

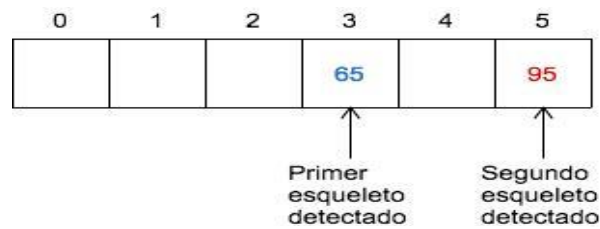


Ilustración 26 Detección del segundo esqueleto

Los procedimientos anteriormente mencionados son ejecutados por la referencia Microsoft.kinect, la cual se encarga de detectar los esqueletos, dibujarlos y guardarlos en el arreglo, este esquema tiene algunas complicaciones como por ejemplo si el primer esqueleto que fue detectado se sale de la zona de detección y vuelve a ingresar, la aplicación lo reconoce como un nuevo esqueleto, ya que los métodos de la referencia detectan solo articulaciones. Por otra parte cuando se sale un esqueleto de la zona de detección en el arreglo sigue ocupada la posición con el Id y cuando vuelve a ingresar se asigna una nueva posición y un Id diferente. La ilustración N. 27 muestra claramente este proceso.

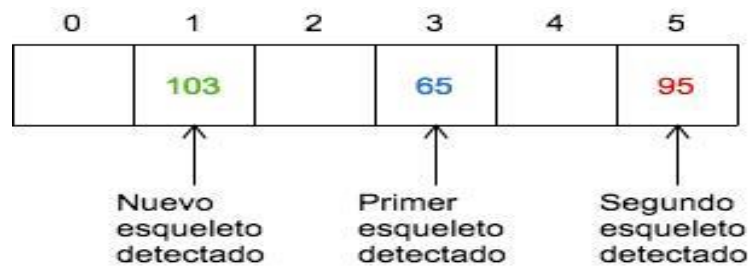


Ilustración 27 Detección del primer esqueleto

En consecuencia se convirtió en una dificultad para el proyecto ya que siempre se espera tener solo dos bailarines con Id's únicos que permiten identificarlos para extraer las características de cada uno y guardar los resultados, pero como se mencionó anteriormente, si el primer bailarín se sale de la zona de detección y vuelve a ingresar se le asigna un nuevo espacio dentro del arreglo con un nuevo Id, es decir que el identificador anterior que en este caso es 65 ya no se va a seguir utilizando porque el nuevo Id es 103, por lo cual, se vuelve incontrolable saber realmente cual Id pertenece al hombre y cual a la mujer. Esto debido a que el sensor Kinect, solo es capaz de detectar las articulaciones de un cuerpo por medio de infrarrojos y por tal motivo, cuando el usuario vuelve a ingresar, el Kinect lo detecta como si fuese un nuevo esqueleto al cual debe dibujar y calcular puntos.

En la ilustración N. 28 se presenta el diagrama de flujo que muestra claramente el proceso que se lleva a cabo cuando se dibujan los esqueletos y se inicia la captura de información.

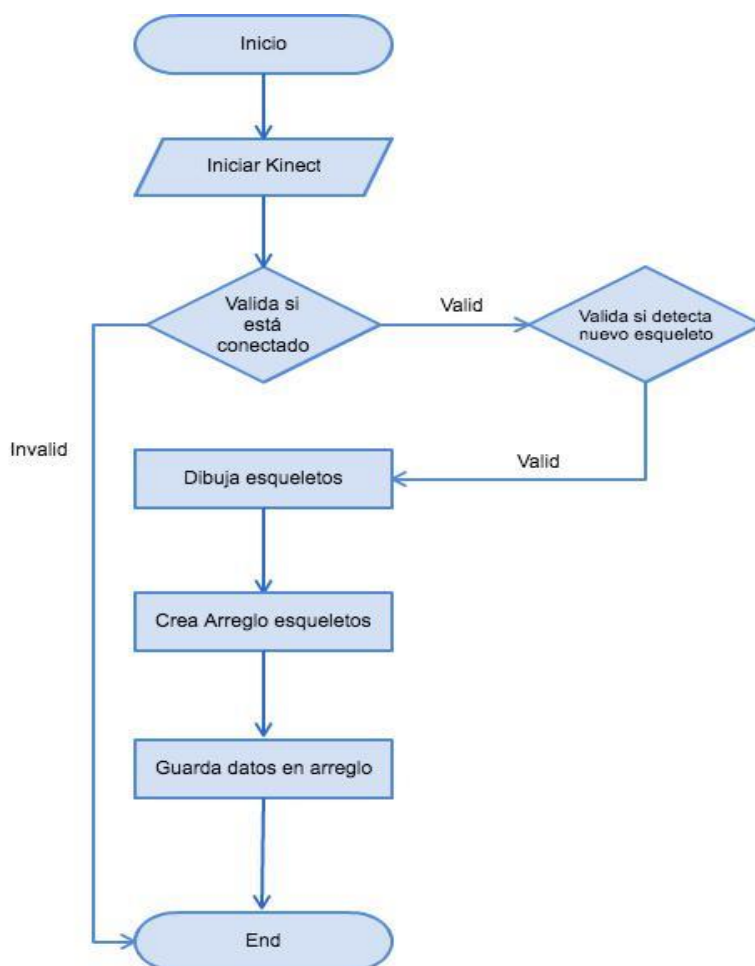


Ilustración 28 Diagrama de flujo, proceso de detectar esqueletos

Para combatir esta problemática se diseñó una estrategia que permite capturar los datos de cada esqueleto diferenciando entre el hombre y la mujer. Se creó un nuevo arreglo llamado skell de tipo “Skeleton”, el cual se encarga de extraer la información de cada esqueleto y guardarla en variables que posteriormente son enviadas a la clase CalcularAngulo.

El proceso que realiza la estrategia diseñada consiste en detectar cuando una persona ingresa a la zona de detección para recorrer el objeto esqueletos y obtener el primer Id que se encuentre en el arreglo, cuando se obtiene este dato se ingresa a un objeto de tipo List llamado bailarines, pero antes de ingresar el Id se recorre el objeto List para verificar si ese dato ya existe, en caso de que no exista se agrega a bailarines. El procedimiento se repite hasta que se completan los dos esqueletos que van a realizar la figura.

Para diferenciar entre los ángulos del hombre y los de la mujer, se decidió que ambas personas inician por fuera del área de detección y cuando se inicie el sensor Kinect ingresa primero el hombre, entonces en el objeto bailarines se guarda en la primera posición el Id que se obtuvo del arreglo esqueletos, posteriormente ingresa la mujer y se guarda en la segunda posición de bailarines el Id del segundo esqueleto, validando que este fuese diferente al primero.

A continuación se detalla el proceso que realiza la estrategia diseñada.

Para mantener el esquema que se ha manejado durante todo el documento (Ver Ilustración N. 25), se retoma el ejemplo anterior donde el Id asignado al primer esqueleto detectado es 65.

Cuando se detecta un nuevo esqueleto, se busca entre el arreglo esqueletos el Id que se ha asignado y se agrega en bailarina, como se muestra en la ilustración N. 29.

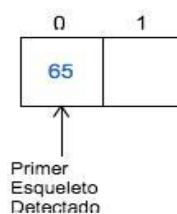


Ilustración 29 Primer bailarín detectado

La primera persona que debe ingresar a la zona de detección es el hombre, por lo tanto es el primer bailarín que se agrega a bailarines.

Al momento que ingresa la mujer, el sensor detecta un nuevo esqueleto y lo guarda en un espacio dentro de esqueletos asignándole un Id, que de acuerdo a la ilustración N. 27, que hace referencia a la detección del segundo esqueleto es 95.

Después de haberse asignado el Id, se recorre de nuevo el arreglo esqueletos para detectar cambios, al momento se puede observar que el primer dato que se encuentra está en la posición tres (3) en la cual se encuentra el Id del primer esqueleto, como ya ha sido usado se continúa recorriendo el arreglo en busca de un nuevo dato, el cual se encuentra en la posición cinco (5) del arreglo, se comprueba si ya existe ese mismo dato en bailarines y de no ser así se agrega en la siguiente posición de la List. En la ilustración N.30, se muestra detalladamente como quedaría el objeto bailarín.

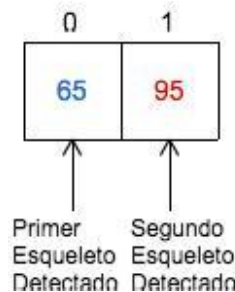


Ilustración 30 List completa de bailarines

Después de tener completa la List bailarines se procede a almacenar la información de los puntos, para tal fin se crean 24 vectores de tipo “Vector3 (vector de 3 dimensiones)”, las cuales se dividen 12 para el hombre y 12 para la mujer. A continuación se detallan las variables que se crean para guardar la información de los puntos.

Cada vector es de 3 dimensiones, ya que se requiere almacenar las coordenadas X, Y y Z de cada articulación.

Después de obtener las coordenadas de cada articulación, se procede a calcular los ángulos que se forman en cada postura, para ello se crean 8 variables adicionales, divididas de la siguiente forma:

Tabla 5 Variables de los ángulos

Variables para el Skell1 (hombre).	Variables para el Skell1 (mujer).
<code>anguloCodoDerechoSkell1;</code> <code>anguloCodoIzquierdoSkell1;</code> <code>anguloRodillaDerechaSkell1;</code> <code>anguloRodillaIzquierdaSkell1;</code>	<code>anguloCodoDerechoSkell2;</code> <code>anguloCodoIzquierdoSkell2;</code> <code>anguloRodillaDerechaSkell2;</code> <code>anguloRodillaIzquierdaSkell2;</code>

En cada variable se almacenan los resultados que arroja la clase CalcularAngulo, pero antes se debe tener en cuenta que para calcular cada ángulo se deben enviar 2 vectores resultantes de las operaciones previas entre las distancias de cada uno. Por ejemplo, para

calcular el ángulo que se forma entre el hombro derecho, el codo derecho y la muñeca derecha, se deben realizar las siguientes operaciones entre vectores.

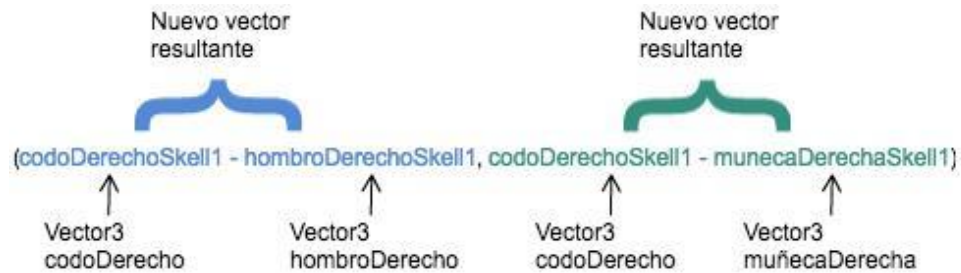


Ilustración 31 Vectores resultantes

Los vectores resultantes también son de 3 dimensiones y se envían a la clase CalcularAngulo por medio de una función denominada “angleBetweenTwoJoint”, la cual se encarga de calcular el ángulo entre 2 vectores.

□ **Calcular los ángulos con los puntos capturados**

Para calcular los ángulos se hace referencia a la clase CalcularAngulo, en la cual se encuentra una función denominada “angleBetweenTwoJoint” y que recibe dos vectores como se mencionó en el punto anterior.

A continuación se presenta el Pseudocódigo que explica más detalladamente cómo se realiza el procedimiento para calcular ángulos

```

angleBetweenTwoJoint(Vector3 vectorA, Vector3 vectorB)

    real productoPunto ←
    0.0 Normalizar
    (VectorA) Normalizar
    (VectorB)

    productoPunto ← producto_punto_entre (VectorA, VectorB)

    retornar Acos (productoPunto) / Pi * 180

```

El anterior pseudocódigo muestra la implementación del modelo matemático descrito en la sección 3.1.1, en la cual se detalla cual es el procedimiento a seguir para calcular un ángulo entre dos vectores.

Es importante aclarar que esta función se activa cada vez que el usuario presiona botón crear resultado y por lo tanto la información se captura en diferentes instantes de tiempo causando que los resultados varíen levemente, esto con el fin de calcular el promedio de los ángulos y la desviación estándar.

□ **Escribir en los archivos de resultados los ángulos calculados**

Después de que la clase CalcularAngulo retorna los ángulos calculados a la clase Dibujar, esta se los envía a la clase Archivos para escribir cada documento generado de acuerdo al botón que se haya presionado, es decir, el primer botón que se debe presionar es “Resultados 1”, el cual va a escribir en el primer archivo de texto (txt) creado por el programa. Cuando se presiona el botón “Resultados 2”, se almacena en el segundo archivo de texto (txt). Por último, cuando se presiona el botón “Resultado 3” el programa captura los últimos ángulos y los guarda en el tercer documento de texto (txt) estos archivos son generados automáticamente por la aplicación. Adicionalmente, el programa calcula el promedio y la desviación estándar de la información guardada previamente en los archivos modelos y resultados respectivamente, para posteriormente evaluar la figura y mostrar una ventana con un mensaje indicando si la figura está bien hecha o no.

Para escribir en los archivos txt, inicialmente se crean dos matrices de 3X4, una para almacenar los datos de la mujer y otra para los hombres. Cada matriz contiene hay tres filas y cuatro columnas, donde cada fila hace referencia a un resultado y cada columna representa a un ángulo diferente.

Tabla 6 Matriz

	ACD	ACI	ARD	ARI
Resultado 1	(0,0)	(0,1)	(0,2)	(0,3)
Resultado 2	(1,0)	(1,1)	(1,2)	(1,3)
Resultado 3	(2,0)	(2,1)	(2,2)	(2,3)

Los resultados se almacenan como se representan en la tabla N. 6, distribuyendo los datos de la siguiente manera:

- En la posición (0,0) fila 0, columna 0 se almacena el ángulo del codo derecho.
- En la posición (0,1) fila 0, columna 1 se almacena el ángulo del codo izquierdo.
- En la posición (0,2) fila 0, columna 2 se almacena el ángulo de la rodilla derecha.
- En la posición (0,3) fila 0, columna 3 se almacena el ángulo de la rodilla izquierda.

Estos resultados se almacenan a medida que se da click a los diferentes botones Resultado: “Resultado 1”, “Resultado 2” y “Resultado 3”.

Después del almacenamiento de estos datos, se crea un archivo pdf con el resumen de los resultados capturados y que se puede visualizar cuando el usuario presiona el botón “Mostrar resultados”. El modelo general del archivo pdf se muestra en la ilustración N. 32

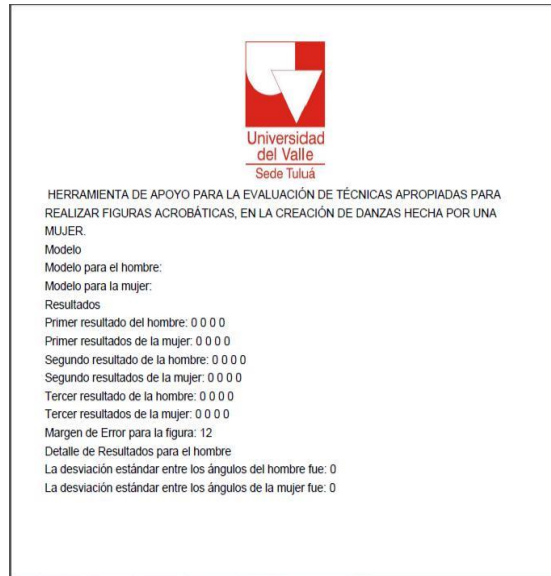


Ilustración 32 Modelo general archivo pdf

4 PRUEBAS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para realizar las validaciones que requiere el sistema, se han efectuado diferentes pruebas las cuales se describen a continuación cada una de ellas.

4.1 Prueba N. 1

Esta prueba consiste en estimar las diferencias entre calcular los ángulos por medio del aplicativo y extraer los ángulos por medio de un software extra como Geogebra, para conocer cual de los dos metodos es más acertivo a la hora de realizar una evaluación, para esto, se toma una figura simple como lo es el de una persona totalmente de pie con los brazos abajo y un margen de holgura de 5 grados, según experto en danzas.

El proceso se divide de dos maneras:

Inicialmente, se Crea un modelo nuevo por medio del aplicativo, el cual consiste en capturar las características de la figura (ángulos) mediante el aplicativo, fue así, como se inicializo el Kinect y el usuario se posicionó en frente del sensor Kinect. Al dar click en el botón “Crear Modelo”, se generó un archivo txt como se evidencia en la ilustración N. 33.

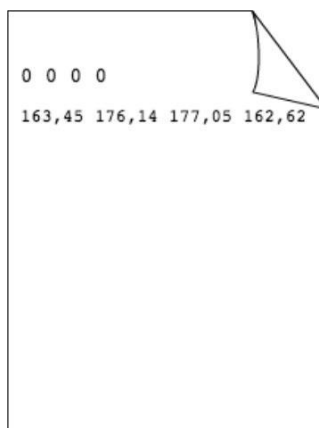


Ilustración 33 Archivo txt, con el calculo de los ángulos mediante el aplicativo.

Luego, se procede a calcular los ángulos mediante el software Geogebra, donde se toma una imagen de la figura abstraída desde el motor de búsqueda Google, se aproximan los puntos de acuerdo a la ilustración N. 6 y a las articulaciones que decidimos a usar, obteniendo así cada uno de estos ángulos como se evidencia en la ilustración N. 35.

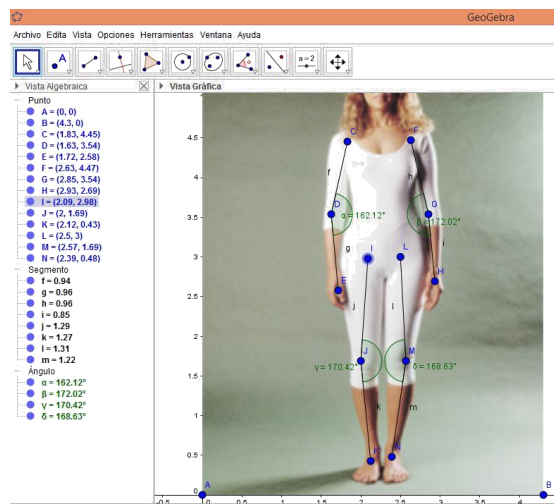


Ilustración 34 Interfaz de Geogebra, con el calculo de los ángulos mediante Geogebra.

En resumen, se obtuvo la siguiente información evidenciada en la Tabla N. 7

Tabla 7 Ángulos calculados por el aplicativo vs Ángulos calculados con Geogebra

Datos calculados con el aplicativo				Datos calculados con Geogebra			
ACD	ACI	ARD	ARI	ACD	ACI	ARD	ARI
163,45	176,14	177,05	162,62	162,12	172,02	170,42	168,63

Según la tabla y la ilustración anterior, se puede concluir que los ángulos tienen una diferencia de maximo siete grados entre las dos maneras de calcular los ángulos. Sin embargo, para terminar la prueba, se cargo el modelo del que previamente se calcularon los ángulos en la primera prueba capturada por medio del Kinect y para la segunda prueba, se cargo el modelo con los datos obtenidos desde Geogebra, con un margen de holgura de 5 grados, midiendo el grado de acertividad de las pruebas donde uno (1) corresponde a esta bien hecho y cero (0) corresponde a está mal hecho. A partir de allí, se obtuvo lo siguiente:

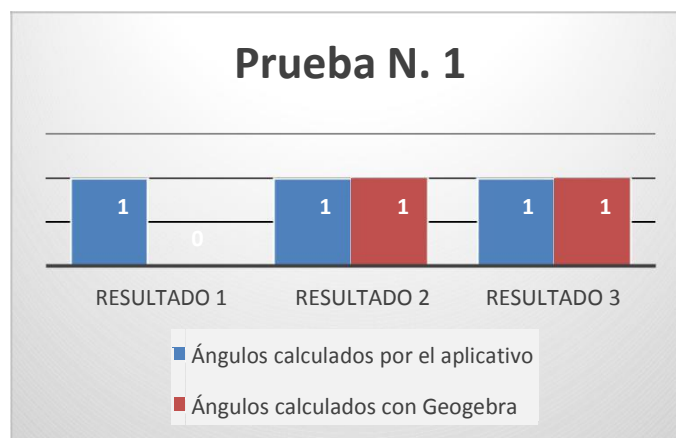


Ilustración 35 Cantidad de aciertos

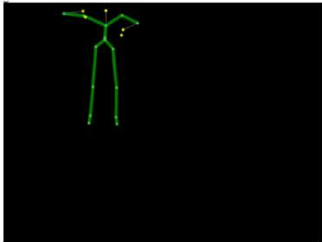
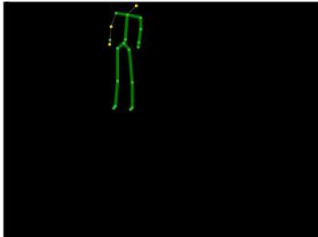
La ilustración N. 36, evidencia qué tan acertiva es la figura que se esta evaluando, de lo cual se puede concluir que es más preciso capturar los ángulos por medio del modelo creado por el aplicativo, sin embargo ambas formas son válidas debido a que proporcionan resultados muy similares con algunas diferencias, donde la diferencia mas significativa se evidencia en el de la rodilla izquierda.

4.2 Prueba N. 2

Esta prueba fue necesaria para verificar la distancia óptima entre el kinect y el usuario, además de la ubicación que debe tener este dispositivo con respecto al suelo. Con esta prueba, se busca de que las articulaciones del esqueleto de los individuos sea detectado por completo. Para ello, se tomó dos personas que cumplen con el promedio de la altura colombiano [32], donde el hombre tiene un promedio de altura 172 cm y la mujer de 160 cm.

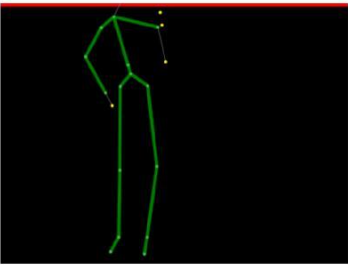
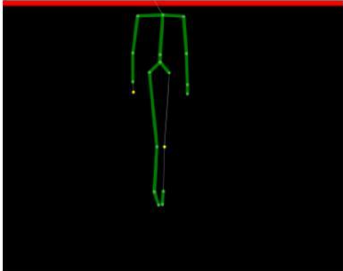
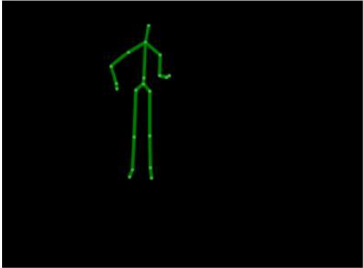
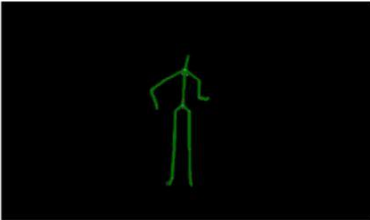
La tabla N. 8 muestra la información de la distancia entre el usuario y el kinect, el cual se encuentra a una altura de cero con respecto al suelo. Se probaron tres diferentes distancias del usuario con respecto al kinect y de ello se obtuvo:

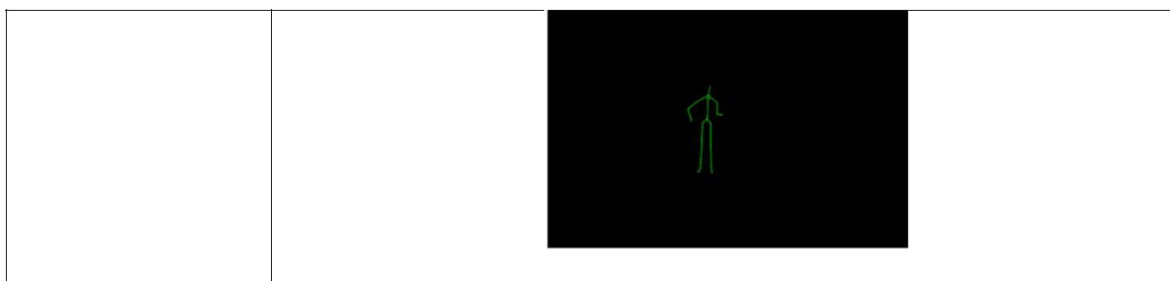
Tabla 8 Distancia entre el usuario y el Kinect, con respecto al suelo

Distancia	Evidencia Gráfica
1 metro	
2 metros	
3 metros	

La tabla N. 9 muestra la información de la distancia entre el usuario y el kinect, el cual se encuentra a una altura de 40 cm con respecto al suelo. Se probaron tres diferentes distancias del usuario con respecto al kinect y de ello se obtuvo:

Tabla 9 Distancia entre el usuario y el Kinect, con una altura de 40 cm con respecto al suelo

Distancia	Evidencia Gráfica
1 metro	
2 metros	
3 metros	
4 metros	
5 metros	



Según la prueba anterior, se puede concluir que a partir de los tres metros el usuario es detectado por completo sin que se observe alguna parte de su cuerpo por fuera del rango de espectro del Kinect, esto si cumple con una altura del promedio de los colombianos o menos. Aunque se recomienda realizar la evaluación a una distancia de 300 cm o mayor con respecto al usuario y que el Kinect se encuentre a una altura de 40 cm a 50 cm aproximadamente. Sin embargo, si el usuario desea saber si se encuentra en el rango del espectro del kinect, la aplicación orienta a los bailarines mostrándoles en color rojo el lado por donde no hay una buena captura del esqueleto, para que el individuo pueda ubicarse dentro del rango pertinente

4.3 Prueba N.3

Esta prueba involucra a personas que han tenido una experiencia previa en el arte del baile, buscando verificar qué tan acertado es el aplicativo a la hora de realizar la evaluación de la figura acrobática analizada en la sección 3.1.1. Para ello se hizo tres pruebas diferentes con dos parejas, donde cada prueba tiene a su vez tres resultados. El sistema se evaluó solamente si la figura estaba bien o mal hecha, con un margen de holgura de 12 grados por encima y por debajo del dato en el modelo, esto según el experto en danzas. Además, se ubicó el Kinect a una altura de 40 centímetros con respecto al suelo y que los bailarines se situaron a una distancia de 322 centímetros, donde la estatura de éstos variaba entre 1,50 a 1,70 centímetros.

Para la información de cada tabla, se utilizaron diez columnas, donde la primera representa el nombre de los archivos txt que se tiene para la realización de la prueba y la última con el nombre de Acierto, representa la evaluación de la figura en ese archivo descrito donde uno (1) es porque está bien hecha y cero (0) es porque está mal hecha. Para el resto de columnas, se utilizan las siglas que se especificaron en la Tabla N. 4 (sección 3.2.4) que contienen el ángulo de esa parte del cuerpo.

ACD-h = ángulo codo derecho del hombre	ACD-m = ángulo codo derecho de la mujer
ACI-h = ángulo codo izquierdo del hombre	ACI- m = ángulo codo izquierdo de la mujer
ARD-h = ángulo rodilla derecha del hombre	ARD-m= ángulo rodilla derecha de la mujer
ARI-h = ángulo rodilla izquierda del hombre	ARI-m = ángulo rodilla izquierda mujer

Tabla 10 Pareja 1, prueba. Cantidad de aciertos

	ACD-h	ACI-h	ARD-h	ARI-h	ACD-m	ACI-m	ARD-m	ARI-m	Acierto
Modelo	145.01	119.92	148.09	178.08	159.04	251.85	192.34	173.84	
Resultado1	146,66	112,87	137,85	179,87	157,09	241,51	199,42	173,05	1
Resultado2	130,35	118,58	147,65	179,3	157,12	265,53	197,87	179,3	0
Resultado3	140,92	122,09	147,41	179,45	157,16	257,41	197,41	173,52	1

Tabla 11 Pareja 1, prueba 2

	ACD-h	ACI-h	ARD-h	ARI-h	ACD-m	ACI-m	ARD-m	ARI-m	Acierto
Modelo	145.01	119.92	148.09	178.08	159.04	251.85	192.34	173.84	
Resultado1	143,97	114,45	140,22	170,22	164,55	260,16	186,34	173,78	1
Resultado2	149,02	119,89	159,32	189,32	150,46	261,45	198,86	170,46	1
Resultado3	146,81	139,89	145,54	185,54	166,52	205,05	190	179,81	0

Creación propia

Tabla 12 Pareja 1, prueba 3

	ACD-h	ACI-h	ARD-h	ARI-h	ACD-m	ACI-m	ARD-m	ARI-m	Acierto
Modelo	145.01	119.92	148.09	178.08	159.04	251.85	192.34	173.84	
Resultado1	148,93	119,61	140,93	179,71	140,44	254,01	198,01	176,17	1
Resultado2	145,43	112,29	146,25	176,76	147,88	253,72	193,72	179,77	1
Resultado3	145,69	115,01	152,26	181,63	152,14	220,09	196,09	178,48	0

Creación propia

Tabla 13 Pareja 2, prueba 1

	ACD-h	ACI-h	ARD-h	ARI-h	ACD-m	ACI-m	ARD-m	ARI-m	Acierto
Modelo	145.01	119.92	148.09	178.08	159.04	251.85	192.34	173.84	
Resultado1	143,68	113,48	142,62	178,28	157,17	256,67	191,14	150,29	0
Resultado2	144,96	116,67	140,8	160,8	160,53	256,34	198,75	177,39	1
Resultado3	140,67	112,2	148,17	171,54	158,34	254,87	195,91	174,66	1

Creación propia

Tabla 14 Pareja 2, prueba 2

	ACD-h	ACI-h	ARD-h	ARI-h	ACD-m	ACI-m	ARD-m	ARI-m	Acierto
Modelo	145.01	119.92	148.09	178.08	159.04	251.85	192.34	173.84	
Resultado1	138,98	112,37	145,87	170,98	158,98	230,63	198,75	170,62	0
Resultado2	140,05	114,46	142,01	175,14	160,41	241,04	195,82	179,18	1
Resultado3	146,91	123,61	140,03	178,52	163,08	245,82	191,04	180,57	1

Creación propia

Tabla 15 Pareja 2, prueba 3

	ACD-h	ACI-h	ARD-h	ARI-h	ACD-m	ACI-m	ARD-m	ARI-m	Acierto
Modelo	145.01	119.92	148.09	178.08	159.04	251.85	192.34	173.84	
Resultado1	147,25	117,61	140,74	183,8	152,92	265,96	192,47	174,8	1
Resultado2	148,73	114,64	151,69	186,91	149,73	259,58	192,33	176,16	0
Resultado3	149,86	129,15	141,41	179,02	150,75	258,95	192,42	172,83	0

Creación propia

A partir de la información de las tablas anteriores, se puede observar que la pareja 1 de 9 evaluaciones de la figura realizada, 6 evaluaciones fueron aceptadas correctamente por la aplicación; en cambio en las tabla 9, 10 y 11, el programa para la pareja 2 indicó 5 evaluaciones correctas de un total de 9 realizadas.

Por último se realiza un resumen de la información las las tablas anteriores mediante un gráfico de barras que se representa en la ilustración N.36

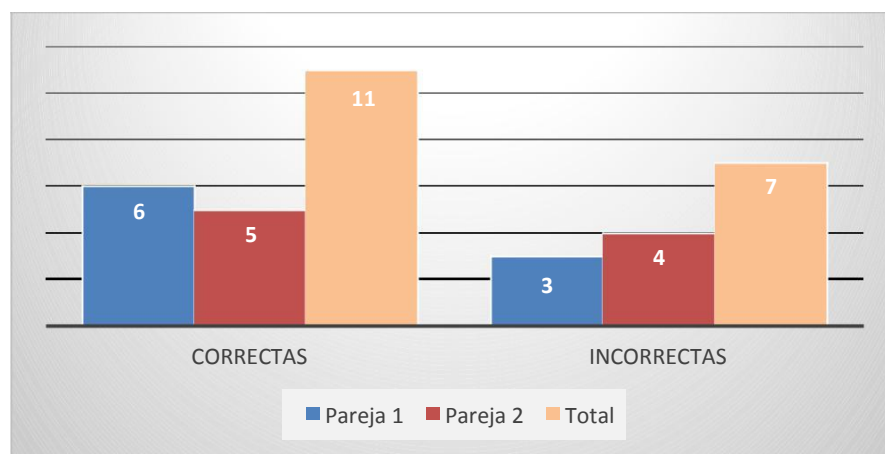


Ilustración 35 Cantidad de aciertos

En las ilustraciones N. 36 se muestra que hubo un total de 18 figuras realizadas, de las cuales 11 fueron validadas correctamente por la aplicación, esto equivale a un 61,1% de aceptación de la aplicación

4.4 Prueba N. 4

Esta prueba involucra a personas con dos tipos de perfiles diferente, bailarín y novato haciendo una comparación entre parejas de novatos y expertos.

Para realizar estas pruebas se ubicó el Kinect a una altura de 47,5 centímetros con respecto al suelo y los bailarines se situaron a una distancia de 3 metros con 22 centímetros, donde la altura de estos se encontraba en un rango de 1,50 a 1,72. Además se tuvo un rango de error de 12 grados de holgura, dado por el experto en danzas.

En el eje x de los gráficos cada uno de los numeros representan un ángulo a evaluar donde: 1= ángulo codo derecho del hombre, 2 = ángulo codo izquierdo del hombre, 3 = ángulo rodilla derecha del hombre, 4 = ángulo rodilla izquierda del hombre, 5= ángulo codo derecho de la mujer, 6 = ángulo codo izquierdo de la mujer, 7 = ángulo rodilla derecha de la mujer y 8 = ángulo rodilla izquierda de la mujer,

De este proceso se obtiene lo siguiente:

El primer grafico, que se evidencia en la ilustración N. 37, donde la prueba la hacen bailarines novatos, se observa que cinco de los ángulos del promedio están por fuera del modelo, dos de ellos están muy cerca casi sobre ellos y solo uno de ellos está donde debe ir. El ángulo mas alejado es el del codo izquierdo de la mujer.

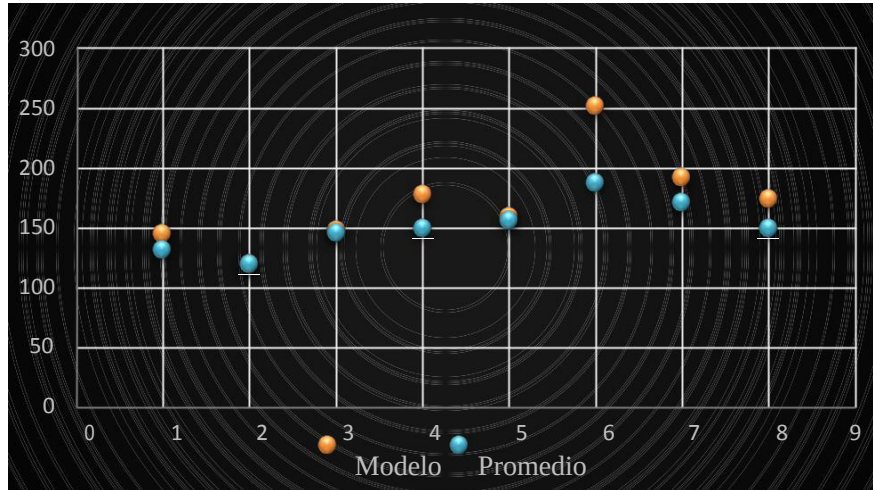


Ilustración 36 Representación de datos de los novatos

El segundo gráfico, que se evidencia en la ilustración N. 38, donde la prueba la realiza un novato y una bailarina, Se observa que los puntos en general estan más cerca del modelo sin embargo seis de ellos tienen una ligera desviación.

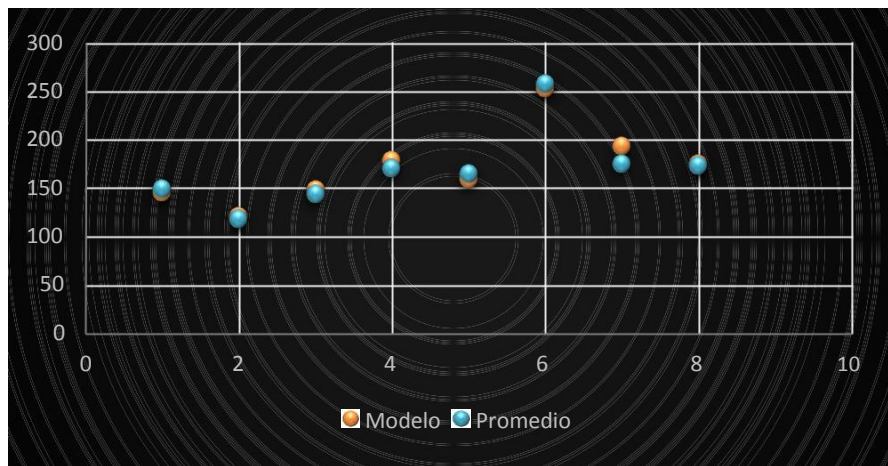


Ilustración 37 Representación de datos de un novato y una bailarina

El tercer gráfico, que se evidencia en la ilustración N. 39, donde la prueba la realiza una novata y un bailarín, aquí se observa a tres ángulos fuera del modelo, cuatro ángulos con una ligera desviación con respecto al modelo y uno de los ángulos esta muy cerca.

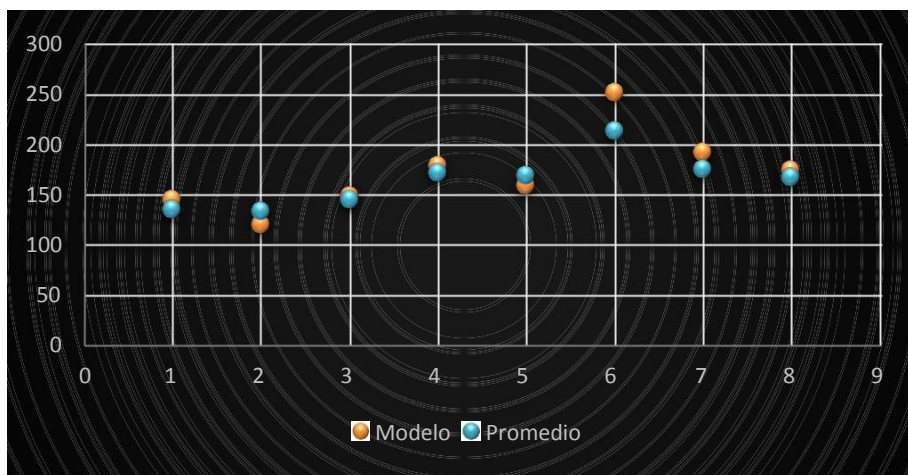


Ilustración 38 Representación de datos de una novata y un bailarín

El cuarto gráfico, evidenciado en la ilustración N. 40, donde la prueba la realizan bailarines, se observa que hay una ligera desviación en solo uno de los ángulos, el resto están cerca del modelo.

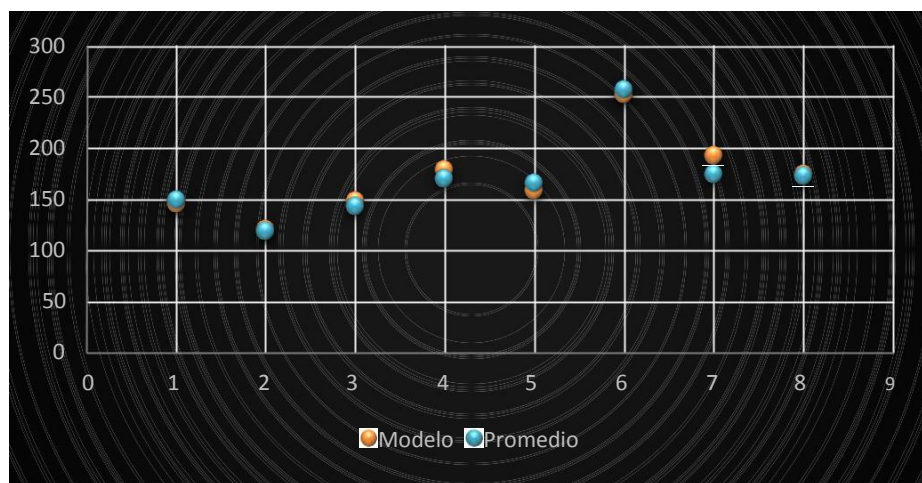


Ilustración 39 Representación de datos de los bailarines

La información de la ilustración N. 37, ilustración N. 38, ilustración N. 39 y la ilustración N. 40, muestran que los valores del promedio de los resultados y el modelo, presentan una forma similar, a pesar de que en algunos vectores no haya una igualdad, esto ocurre porque puede

variar cada captura realizada y a los factores externos como características morfológicas, ubicación del kinect, elongación del cuerpo, la experiencia de las personas que realizaron la prueba, entre otros y el margen de error propio del kinect [33].

Según los resultados de las gráficas anteriormente expuestas, las tendencias de los ángulos de las articulaciones, se dieron con respecto a la posición en general del cuerpo en especial las articulaciones evaluadas, las cuales requieren mucha precisión en su realización. En general los ángulos del codo izquierdo de la mujer y la rodilla izquierda del hombre presentan resultados alejados del modelo. Sin embargo, se puede decir que la aproximación al modelo original va de acuerdo a la experiencia que tiene el usuario en el arte del baile, siendo esta lineal en cuanto a su experiencia, es decir, a medida de que el usuario tiene una mayor experiencia, el resultado de la evaluación de la figura va a proporcionar información más exacta. Por ejemplo podemos observar en estos dos ángulos, los novatos obtuvieron en la rodilla izquierda del hombre una diferencia que equivale a 28.81° y los bailarines una diferencia de 8,7. En el ángulo del codo izquierdo de la mujer los novatos tuvieron una diferencia de 64,41 mientras que los bailarines 4,68. Sin embargo se puede observar que la mujer tiene más número de ángulos con variones con respecto al modelo, lo que quiere decir que también depende de la figura que se este evaluando, en este caso el mayor esfuerzo lo hace la mujer, la cual debe de permanecer en el aire haciendo un split, donde el peso de su cuerpo es sostenido en el empeine del pie lo que requiere de un buen manejo del cuerpo.

5 CONCLUSIONES Y PROYECCIONES

5.1 Conclusiones

En este capítulo se recogen las conclusiones más relevantes a las que se ha llegado durante el desarrollo del presente trabajo y se indican las líneas de trabajo futuras que se derivan de la realización de este trabajo de grado.

Entre las conclusiones más relevantes:

- Como características principales de las figuras acrobáticas a evaluar, se determinó que este proceso se haría por medio del cálculo de los ángulos generados entre los hombros, codos y muñecas, además de la cadera, rodillas y tobillos tanto del lado derecho como del lado izquierdo, con el fin de garantizar que la aplicación sea usada por personas con el promedio de estatura de los colombianos.
- Se realizó un modelo, el cual, consta de ocho valores que representan las características principales de una figura acrobática tanto del hombre como de la mujer, lo que permite que la aplicación sea mas rapida en tiempos de respuestas, le permite ser dinámica y escalable
- Para mostrar el esqueleto, obtener y calcular los resultados se utiliza una herramienta propia del kinect llamado Skeleton Tracking, el cual proporciona información detallada sobre la posición en el campo de visión de la cámara, específicamente de veinte articulaciones del cuerpo del usuario. De acuerdo a esta funcionalidad, se logro adaptar el modelo de datos propio, utilizando solo 12 de estas articulaciones que corresponden a las partes del cuerpo que representan mas movimiento, tanto extremidades superiores como las inferiores. Esto, facilita hacer una serie de operaciones básicas con lo que se lleva a cabo el modelo matemático, logrando exactitud en los resultados.
- Se creó una aplicación prototipo con una interfaz gráfica de usuario, capaz de valorar los resultados obtenidos y que cumpliera los requerimientos pertinentes, buscando que el usuario pueda asociarla con otro tipo de interfaces y así posiblemente sea más intuitiva.
- Se optó por utilizar el dispositivo kinect para capturar los datos pertinentes, debido a que este sensor ignora el entorno, lo que permite pasar por alto iluminación, efectos de sombra, y demás características que debe de tener una imagen para obtener resultados óptimos.
- La aplicación de este trabajo, está sujeto a una serie de restricciones como la posición que va a tener el kinect y la distancia entre el sensor y los usuarios para que puedan ser detectados por el kinect completamente. Por ende, se recomienda que el kinect se encuentre a una altura entre 40 cm y 50 cm, siendo la distancia entre el usuario y el kinect de aproximadamente tres metros con 22 centímetros (3,22), sin embargo esto se encuentra sujeto a la altura del usuario que utilizará el sistema.
Además, el aplicativo solo cuenta con la evaluación de cuatro ángulos estratégicos, sin embargo al no tener en cuenta otros ángulos puede hacer que la evaluación repercuta en la estética de la figura acrobática, viéndose afectada. Como por ejemplo la evaluación del empuje.

- El grado de holgura que se utiliza para la evaluación de figuras acrobáticas depende del experto y esta sujeta a la opinión de este, lo que puede generar que no sea exacto a la hora de lograr con su objetivo, siendo esta una limitante.
- Según el experto, el aplicativo permite realizar una oportuna evaluación de la realización de la figura acrobática que se va a realizar, debido a que el aplicativo, visualiza la figura que se va a realizar, captura los datos por medio del sensor, da una evaluación correcta y proporciona una retroalimentación por medio del pdf, lo que permite hacer la figura de forma apropiada a la hora de realizar este tipo de ejercicios, esto se debe a que es difícil hacerle un seguimiento a la misma. Por último, esto mejora la estética de lo que se quiere mostrar en tarima, ya que cada vez la repetición de las cosas, hace que nos volvamos cada vez mejores en ello. Además, sirve de fundamento para ampliar investigaciones que involucren la creación de software enfocados a promover el uso de aplicativos en el arte.

5.2 Proyecciones

Actualmente como se encuentra el proyecto, brinda la oportunidad de realizar trabajos futuros, bien sea para optimizarlo o para agregar nuevas herramientas y extenderlo, es así como se puede realizar otros trabajos como los siguientes:

- Determinar el cálculo del margen de error, cuando se crea un modelo.
- Extender el reconocimiento mediante el movimiento.
- Buscar alternativas diferentes de la manera en que se almacenan los datos para realizar un mejor seguimiento de la figura acrobática, como por ejemplo una base de datos, permitiendo llevar un registro histórico más robusto.
- Implementar una mejora para que se puede hacer una captura de datos no solo de dos usuarios.
- Ampliar la detección de otras articulaciones para mejorar el proceso de evaluación de otros ángulos de la figura acrobática que actualmente no se tienen en cuenta, como por ejemplo para evaluar el empuje.

REFERENCIAS

- [1] F. Manzanera, (2006, Junio). Lesiones en la danza. Primera parte. Danza Ballet & Body Ballet. [En línea] disponible en: www.danzaballet.com/las-lesiones-en-la-danza-i-primeraparte.
- [2] Peggy Langrall (1993, Julio) “La danza: efímera y académica”. El Tiempo. [En línea]. Disponible en: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-164769>
- [3] Pako Martinez (2013, Enero) La danza y las artes visuales 5° Grado. Bloque III. Danza y Expresión Corporal. Gobierno del Estado de México. [En línea] Disponible en: <http://promotoreducacionartistica.blogspot.com.co/2013/01/la-danza-y-las-artes-visuales.html>.
- [4] Microsoft, “Kinect para Windows”. [En línea] Disponible en: <https://developer.microsoft.com/en-us/windows/kinect>.
- [5] Wired Gadget, (2010, noviembre), “Funcionamiento del sensor de movimiento en Kinect”. [En línea] Disponible en: <http://ideasgeek.net/2010/11/10/funcionamiento-del-sensor-de-movimiento-en-kinect/>
- [6] DAVE, Ankit et al. Project Mudra: Personalization of Computers using Natural Interface. En International Journal of Computer Applications. 2012, pp. 42-46.
- [7] Sergio Herman Peralta Benhumea. (2012, Septiembre). Interfaz de lenguaje natural usando Kinect. Trabajo de maestría en ciencias de computación.
- [8] José Perona (2011, Julio). Reto Kinect: Usar las cámaras del sensor. Microsoft DX España. [En línea]. Disponible en: <https://blogs.msdn.microsoft.com/esmsdn/2011/07/20/reto-kinect-usar-las-cmaras-del-sensor/>
- [9] Juan Carlos Ruiz (2013, Marzo) Programar en K4W: Kinect For Windows. Microsoft MSDN [En línea]. Disponible en: <https://blogs.msdn.microsoft.com/juank/2013/03/12/programar-en-k4w-kinect-for-windows/>
- [10] Olga P. Osorio y Francisco L. Peña (2015, Noviembre) Captura de movimiento utilizando el Kinect para el control de una plataforma robótica controlada de forma remota por medio de seguimiento de los puntos de articulación del cuerpo. [En línea] Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/5136/6298O83CB108466.pdf?sequence=1>

- [11] Kinect. SDK de Windows 10. [En línea] Disponible en: <https://developer.microsoft.com/es-es/windows/downloads/windows-10-sdk>
- [12] Microsoft. Kinect for Windows Developer Toolkit v1.8. [En línea] Disponible en: <https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=40276>
- [13] Roberto Torres (2014, Enero). C#: Creando archivos PDF con iTextSharp. [En línea] Disponible en: <http://desarrolladores.me/2014/01/c-creando-archivos-pdf-con-itextsharp/>
- [14] Microsoft. Visual Studio. [En línea] Disponible en: <https://msdn.microsoft.com/es-es/library/aa718325.aspx>
- [15] Wikipedia. “Coreografía”. [En línea]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Coreograf%C3%ADa>
- [16] Definición .de. “Definición de: Danza”. [En línea]. Disponible en: <http://definicion.de/danza/>
- [17] Glosario Educación física / Término. “Elongación”. [En línea]. Disponible en: <http://glosarios.servidor-alicante.com/educacion-fisica/elongacion>
- [18] Wikipedia. “Empeine (pie)”. [En línea]. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Empeine_\(pie\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Empeine_(pie))
- [19] Universidad Complutense Madrid. “Matching”. [En línea]. Disponible en: http://eprints.ucm.es/22577/1/Procesado_de_imagenes_para_plataformas_moviles.pdf.
- [20] Dr. Victor J. Sosa Sosa. “Middleware: Arquitectura para aplicaciones distribuidas”. Cinvestav-Tamaulipas- [En línea]. Disponible en: http://www.tamps.cinvestav.mx/~vjsosa/clases/sd/Middleware_Recorrido.pdf
- [21] Marcos Luis Díaz García (2016, Marzo). Odometría visual aplicada a la localización de un robot con Kinect en interiores. Trabajo de fin de grado. [En línea] Disponible en: <http://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/1932/Odometria%20visual%20aplicada%20a%20la%20localizacion%20de%20un%20robot%20con%20Kinect%20en%20interiores.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [22] Wikipedia. “Split (ejercicio físico)”. [en línea] Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Split_\(ejercicio_f%C3%ADsico\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Split_(ejercicio_f%C3%ADsico))
- [23] Microsoft. Windows Presentation Foundation. Developer Network. [En línea]. Disponible en: [https://msdn.microsoft.com/es-es/library/ms754130\(v=vs.110\).aspx](https://msdn.microsoft.com/es-es/library/ms754130(v=vs.110).aspx)

[24] J.F Villada, J.E Muñoz y J.D Hoyos. (2014, Noviembre). “Desarrollo de un software de análisis biomecánico a través de datos de captura de movimiento usando el sensor KINECT para rehabilitación asistida con videos juegos. Universidad Católica de Pereira. [En línea] Disponible en: <http://biblioteca.ucp.edu.co/ojs/index.php/entrecei/article/viewFile/2499/2380>

[25] Lucía Vera, Jespus Gimeno (2011, Junio). Espejo Aumentado: sistema interactivo de realidad aumentada basado en kinect. [En línea] Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Inmaculada_Coma/publication/260342692_Espejo_Aumentado_sistema_interactivo_de_Realidad_Aumentada_basado_en_Kinect/links/5410032d0cf2df04e75a4b56.pdf

[26] Credo interactive. DANCE FORMS 2.0 Información general del Dance Forms Software Shop. [En línea]. Disponible en: http://www.software-shop.com/in.php?mod=ver_producto&prdID=457

[27] Olín Plácido Larrazábal, La casa que baila. (2008, Abril). “Merce Cunningham y sus coreografías”. Danza Ballet. [en línea] Disponible en: <https://www.danzaballet.com/wp-content/cache/all/merce-cunningham-y-sus-coreografias/index.html>

[28] Christine (2010, Octubre). “Life Forms 5.0 and DanceForms 2.0”. Dance-tech. [en línea] Disponible en: <http://www.dance-tech.net/group/ontoolsandtechnologies/forum/topics/life-forms-50-and-danceforms>

[29] Universidad Unión Bolivariana. Metodologías ágiles “Proceso Unificado Ágil (AUP)”. [En línea] Disponible en: http://ingenieriadesoftware.mex.tl/63758_AUP.html.

[30] Álvaro Alcolea. (Mayo, 2015) “Proyecto Kinect: Comparación de esqueletos”. Un mundo de ingeniería. [En línea] Disponible en: <http://unmundodeingenieria.blogspot.com.co/2015/05/proyecto-kinect-comparacion-de.html>

[31] Universidad de Alicante. Servicio de Informática “Modelo Vista Controlador (MVC)” [En línea] Disponible en: <https://si.ua.es/es/documentacion/asp-net-mvc-3/1-dia/modelo-vista-controlador-mvc.html>

[32] Redacción vida de hoy. (2013, Octubre). “¿Esta usted dentro del rango de estatura promedio de los colombianos?”. El tiempo. [En línea]. Disponible en: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-13128617>

[33] Microsoft . Developer Network. “Skeletal Joint Smoothing While Paper”. [En línea]. Disponible en: <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/jj131429.aspx>

ANEXOS

Anexo 1

Evidencia prueba N.2

Evidencia fotográfica de la prueba realizada a un hombre con estatura promedio de 1,72 que se muestra en la ilustración N. 41, para conocer las restricciones del uso del kinect y la posición del mismo.

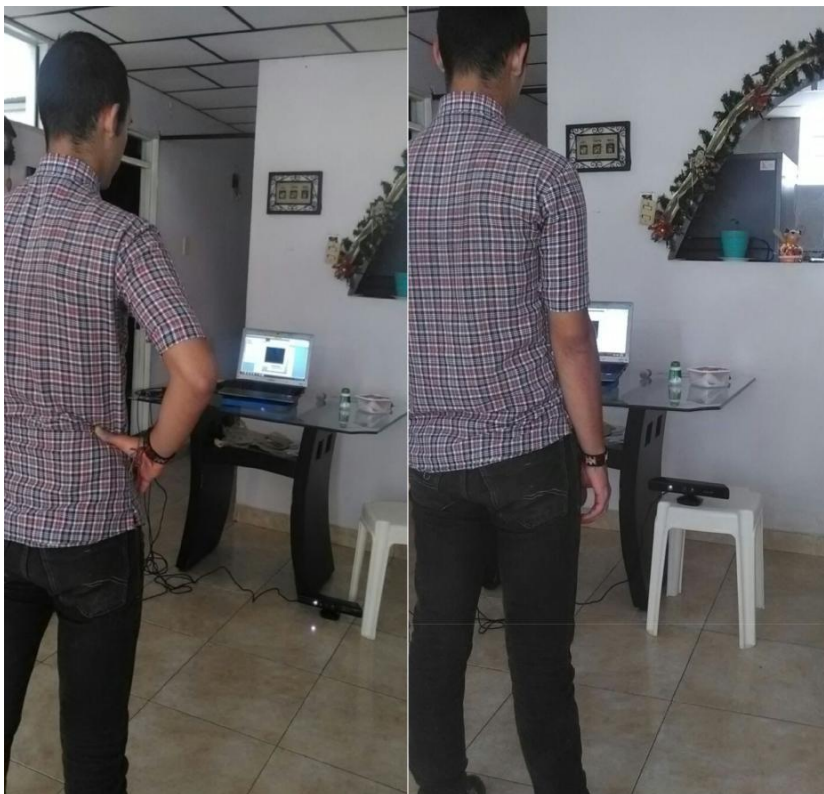


Ilustración 40 Prueba para las condiciones de uso del Kinect

Anexo 3

Evidencia fotográfica de la prueba realizada a personas con experiencia en el arte del baile que se muestra en la ilustración N. 41, para la validación de que tan acertada es la evaluación de la realización de alguna figura acrobática



Ilustración 41 Pruebas con expertor

Se cuenta con tres bailarines un hombre y dos mujeres de los cuales, el hombre cuenta con una experiencia de un año con los talleres que presenta la casa de la Cultura en la ciudad de Tuluá, la bailarina de la imagen de la izquierda fue bailarina de danzas durante su adolescencia con un tiempo de tres años y la bailarina de la derecha tienen experiencia de cinco años donde uno de ellos la tuvo con Aires Antillado y el resto con Corpumentdanz.

Anexo 4

Evidencia prueba N.4

Evidencia fotográfica de la prueba realizada a cuatro personas que se muestra en las siguientes ilustraciones, para la validación del funcionamiento adecuado del sistema. Para la indumentaria utilizada se tuvo en cuenta una mesa en la cual se colocó el computador y el sensor kinect.



Ilustración 42 Pruebas con novatos



Ilustración 43 Pruebas con novato hombre, bailarina mujer



Ilustración 44 bailarín hombre y novata mujer



Ilustración 45 bailarines