



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E
INSTRUMENTACIÓN

TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA E
INSTRUMENTACIÓN

TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
REALIDAD VIRTUAL BASADO EN LA TECNOLOGÍA KINECT 2.0
PARA LA EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO CORPORAL HUMANO

AUTOR: WILLIAM MAURICIO LÓPEZ VILLAVICENCIO

DIRECTOR: ING. EDWIN PRUNA

LATACUNGA

2017



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “***DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE REALIDAD VIRTUAL BASADO EN LA TECNOLOGÍA KINECT 2.0 PARA LA EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO CORPORAL HUMANO***” realizado por el señor ***WILLIAM MAURICIO LÓPEZ VILLAVICENCIO***, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor ***WILLIAM MAURICIO LÓPEZ VILLAVICENCIO*** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 23 de enero del 2017

EDWIN PATRICIO PRUNA PANCHI
DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **WILLIAM MAURICIO LÓPEZ VILLAVICENCIO**, con cédula de identidad N° 0503911000, declaro que este trabajo de titulación “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE REALIDAD VIRTUAL BASADO EN LA TECNOLOGÍA KINECT 2.0 PARA LA EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO CORPORAL HUMANO**” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 23 de enero del 2017

WILLIAM MAURICIO LÓPEZ VILLAVICENCIO
C.C.: 0503911000



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

AUTORIZACIÓN

Yo, **WILLIAM MAURICIO LÓPEZ VILLAVICENCIO**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE REALIDAD VIRTUAL BASADO EN LA TECNOLOGÍA KINECT 2.0 PARA LA EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO CORPORAL HUMANO**” cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Latacunga, 23 de enero del 2017

WILLIAM MAURICIO LÓPEZ VILLAVICENCIO
C.C.: 0503911000

DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto a mis padres, mis hermanos, mis cuñadas y mis sobrinos, que me brindaron apoyo en todo momento.

Como también dedicar a mis maestros, compañeros y amigos, por ser partícipes de mi realización profesional y personal.

William Mauricio López Villavicencio.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a mi familia, por el apoyo y la fuerza que me brindaron durante estos 5 años de la carrera de Ingeniería Electrónica e Instrumentación, como también durante la resolución del presente proyecto.

Dar las gracias al Ingeniero Edwin Pruna, por ser director del proyecto de investigación, brindarme la confianza y las herramientas necesarias para la realización de este proyecto con la máxima calidad, como también por la comprensión y rapidez en la resolución de inquietudes planteadas.

Dar las gracias al Doctor Sergio Albiol, por ser la persona encargada de guiarme e impartirme conocimientos, para poder complementar así diversas partes de la aplicación.

Dar las gracias a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por ser la partícipe de mi desarrollo personal y profesional durante estos 5 años.

Por último y no menos importante, agradecer a mis profesores, amigos, compañeros y personas cercanas a mí, que han estado conmigo en todo momento, brindándome apoyo y consejos durante toda mi vida universitaria.

William Mauricio López Villavicencio.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARÁTULA.....	i
CERTIFICADO	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN (PUBLICACIÓN BIBLIOTECA VIRTUAL).....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT	xvii

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	3
1.3 Justificación.....	4
1.4 Importancia.....	5
1.5 Objetivos.....	5

1.5.1	Objetivo general	5
1.5.2	Objetivos específicos	5
1.6	Alcance.....	6
1.7	Hipótesis.....	7

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO	8	
2.1	Realidad virtual	8
2.1.1	Conceptos	8
2.1.2	Diseño	9
2.1.3	Características de un sistema de realidad virtual.....	11
2.2	Kinect.....	13
2.2.1	Introducción.....	13
2.2.2	Kinect 1.0 vs Kinect 2.0.....	14
2.3	Kinect 2.0.....	17
2.3.1	Fuentes de datos	18
2.4	Microsoft Visual Studio	23
2.4.1	Lenguajes de programación.....	24
2.4.2	Entornos de desarrollo de realidad virtual	26
2.5	Evaluación del movimiento corporal humano	26
2.5.1	Goniómetro	26

CAPÍTULO III

DISEÑO Y METODOLOGÍA.....	30
3.1 Metodología.....	30
3.1.1 Metodología experimental.....	30
3.2 Diseño del sistema de Realidad Virtual	31
3.2.1 Definición del sistema	32
3.2.2 Formulación del modelo.....	40
3.2.3 Preparación de los datos	45
3.2.4 Traslación del modelo.....	48

CAPÍTULO IV

EXPERIMENTACIÓN E IMPLEMENTACIÓN	49
4.1 Validación.....	50
4.2 Planificación estratégica.....	50
4.3 Planificación táctica	51
4.3.1 Imágenes de posiciones del experimento	51
4.4 Experimentación.....	53
4.4.1 Pasos previos al funcionamiento del sistema de realidad virtual	54
4.4.2 Pasos en el funcionamiento del sistema	56
4.5 Interpretación.....	61
4.5.1 Cuadros de textos dinámicos.....	62

4.5.2	Cuadro de texto estático	62
4.6	Implementación	64
4.6.1	Evaluación del área de detección corporal del sistema	64
4.6.2	Resultados de la implementación	70
4.7	Documentación.....	79
4.7.1	Índice del manual de usuario	79

CAPÍTULO V

RESULTADOS	80	
5.1	Validación del Goniómetro Virtual Multipunto	80
5.1.1	Toma de muestras en función del eje XY	82
5.1.2	Toma de muestras en función del eje YZ.....	83
5.1.3	Toma de muestras en función del eje XZ.....	84
5.1.4	Toma de muestras en 3 dimensiones	85
5.1.5	Recopilación de muestras.....	86
5.2	Análisis de resultados.....	87
5.3	Comprobación de la Hipótesis	88
CONCLUSIONES	89	
RECOMENDACIONES.....	90	
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91	

ANEXOS..... 94

ANEXO 1: Guías de configuración rápida

ANEXO 2: Validación Del Goniómetro Virtual Multipunto

ANEXO 3: Manual de usuario

ANEXO 4:Glosario

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Comparación Kinect 1.0 - Kinect 2.0.....	14
Tabla 2 Requisitos del Sistema.....	16
Tabla 3 Puntos del reconocimiento esquelético.....	23
Tabla 4 Lenguajes de programación Visual Studio.....	25
Tabla 5 Equipos del sistema.....	33
Tabla 6 Variables del sistema.....	39
Tabla 7 Subprocesos del diagrama de flujo principal.....	42
Tabla 8 Subprocesos del diagrama de flujo de interrupciones.....	43
Tabla 9 Preparación de los datos.....	46
Tabla 10 Evaluación del hombro.....	52
Tabla 11 Evaluación del hombro.....	52
Tabla 12 Evaluación del codo.....	53
Tabla 13 Descripción de los elementos del cuadro de texto estático.....	63
Tabla 14 Evaluación del hombro.....	70
Tabla 15 Evaluación del hombro.....	72
Tabla 16 Evaluación del hombro.....	73
Tabla 17 Evaluación del hombro.....	75
Tabla 18 Evaluación del codo.....	77
Tabla 19 Evaluación del codo.....	78
Tabla 20 Muestras obtenidas del eje XY.....	82
Tabla 21 Muestras obtenidas del eje YZ.....	83
Tabla 22 Muestras obtenidas del eje XZ.....	84
Tabla 23 Muestras obtenidas en 3 dimensiones.....	85
Tabla 24 Recopilación de muestras obtenidas en el experimento.....	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Fases de diseño de una simulación.....	10
Figura 2 Características de un sistema de realidad virtual	11
Figura 3 (a) Kinect Primera Generación, (b) Kinect Segunda Generación	14
Figura 4 Hardware Kinect Primera Generación	15
Figura 5 Hardware Kinect Segunda Generación.....	16
Figura 6 Adaptador del Kinect 2 para Windows	17
Figura 7 Kinect de segunda generación	18
Figura 8 Datos de color.....	18
Figura 9 Datos de infrarrojo	19
Figura 10 Datos de profundidad.....	20
Figura 11 Datos de detección de siluetas	20
Figura 12 Reconocimiento esquelético	21
Figura 13 Reconocimiento esquelético	22
Figura 14 Pantalla de trabajo de Microsoft Visual Studio 2013.....	24
Figura 15 Lenguajes de Visual Studio	24
Figura 16 Goniómetro	27
Figura 17 Goniómetro Digital	27
Figura 18 Partes del goniómetro.....	28
Figura 19 Utilización del goniómetro extremidad superior	29
Figura 20 Utilización del goniómetro extremidad inferior	29
Figura 21 Operación del experimento.....	31
Figura 22 Fases de diseño de simulación de realidad virtual	32
Figura 23 Planos de análisis corporal.....	34
Figura 24 Clasificaciones de extremidades	34
Figura 25 Referencia hombro, plano coronal.....	35
Figura 26 Referencia hombro, plano sagital	36
Figura 27 Referencia hombro, plano transversal	37
Figura 28 Referencia codo, plano coronal	37
Figura 29 Referencia codo, plano sagital.....	38
Figura 30 Referencia hombro, plano transversal	39

Figura 31 Diagrama de flujo Principal	41
Figura 32 Diagrama de flujo de interrupciones	43
Figura 33 Diagrama de flujo de detección de ángulos	45
Figura 34 Acondicionamiento de datos para el eje Z	47
Figura 35 Fases de implementación del sistema	49
Figura 36 Planificación estratégica	50
Figura 37 Abducción y Aducción de hombro	51
Figura 38 Extensión y Flexión del hombro	52
Figura 39 Extensión y Flexión del codo	53
Figura 40 Uso de vestimenta holgada	54
Figura 41 Uso de vestimenta correcta	54
Figura 42 Distancia ideal de funcionamiento	55
Figura 43 Ubicación correcta del usuario.....	55
Figura 44 Inicio del sistema	56
Figura 45 Error de sincronización entre PC - Kinect 2.0	56
Figura 46 Sincronización correcta entre PC - Kinect 2.0	57
Figura 47 Error en la selección del usuario.....	57
Figura 48 Selección correcta de usuario a evaluar	58
Figura 49 Error en selección de la extremidad superior derecha.....	58
Figura 50 Selección correcta de la extremidad superior derecha	59
Figura 51 Selección del botón Pausar	59
Figura 52 Selección del botón Continuar	60
Figura 53 Selección del botón de captura de pantalla	60
Figura 54 Ingreso del nombre de la captura de pantalla	61
Figura 55 Interpretación de los ángulos	61
Figura 56 Elementos del Cuadro de texto estático	62
Figura 57 Ubicación correcta del usuario a evaluar	64
Figura 58 Ubicación incorrecta del usuario a evaluar	65
Figura 59 Detección correcta de la extremidad superior izquierda	65
Figura 60 Detección incorrecta de la extremidad superior izquierda	66
Figura 61 Detección correcta de la extremidad superior derecha.....	66

Figura 62 Detección incorrecta de la extremidad superior derecha	67
Figura 63 Detección correcta de las extremidades superiores	67
Figura 64 Detección incorrecta de las extremidades superiores	68
Figura 65 Detección correcta en vista superior	68
Figura 66 Detección incorrecta en vista superior	69
Figura 67 Detección correcta en posición de extensión de brazos	69
Figura 68 Posición cero del hombro izquierdo	70
Figura 69 Abducción del hombro izquierdo.....	71
Figura 70 Aducción del hombro izquierdo.....	71
Figura 71 Posición cero del hombro derecho	72
Figura 72 Abducción del hombro derecho	72
Figura 73 Aducción del hombro derecho	73
Figura 74 Posición cero del hombro izquierdo	74
Figura 75 Flexión del hombro izquierdo	74
Figura 76 Extensión del hombro izquierdo.....	74
Figura 77 Posición cero del hombro derecho	75
Figura 78 Flexión del hombro derecho	76
Figura 79 Extensión del hombro izquierdo.....	76
Figura 80 Posición cero del codo izquierdo	77
Figura 81 Flexión del codo izquierdo	77
Figura 82 Posición cero del codo derecho.....	78
Figura 83 Flexión del codo derecho.....	78
Figura 84 Captura Goniómetro físico	81
Figura 85 Captura del sistema de Goniómetro virtual multipunto	81
Figura 86 Gráfico de error en el eje XY	82
Figura 87 Gráfico de error en el eje YZ.....	83
Figura 88 Gráfico de error en el eje XZ.....	84
Figura 89 Gráfico de error en 3 dimensiones.....	85
Figura 90 Gráfico de error en el experimento	87

RESUMEN

En la actualidad la evolución de los instrumentos médicos digitales y virtuales han permitido un gran desarrollo en el área de la salud a nivel mundial, ya que estos nuevos instrumentos son más rápidos, generan información digital y son de fácil utilización, generando así mayor agilidad a la hora de detectar patologías. La medicina y la tecnología están evolucionando a la par, con el objetivo de mejorar el servicio para los pacientes, por lo que el presente proyecto de investigación se enfocó en el diseño e implementación de un sistema de realidad virtual denominado goniómetro virtual multipunto de extremidades superiores con el dispositivo de tracking óptico Kinect 2.0 de Microsoft. El goniómetro virtual multipunto de extremidades superiores tiene varias características que lo hacen un instrumento necesario para el área de fisioterapia y fisiatría, ya que este sistema de realidad virtual permite al usuario evaluar los diferentes arcos de movimiento de las extremidades superiores en los tres planos corporales (coronal, sagital y transversal), obteniendo así una lectura clara de los rangos de movimiento del usuario en tiempo real.

PALABRAS CLAVE:

- **KINECT 2**
- **GONIÓMETRO**
- **REALIDAD VIRTUAL**
- **MOVIMIENTO CORPORAL**

ABSTRACT

Nowadays the evolution of digital and virtual medical instruments allows a big development in health area on a worldwide level, because these new instruments are faster; generate digital information and are easy to use, in this way, generates more agility detecting pathologies. Medicine and technology are evolving at the same time with the aim to improve the service to the patients that is the reason this investigation project focuses on the design and implementation of a virtual reality system called Multipoint Virtual Goniometer of upper limbs with the optic tracking device Kinect 2.0 from Microsoft. Multipoint Virtual Goniometer of upper limbs has many features, which made it a necessary instrument in physiatry and physiotherapy, because this virtual reality system able the user to evaluate the different move bows of the upper limbs on the three corporal planes (coronal, sagittal and transverse) getting like this a clearly reading of move range from the user on real time.

KEYWORDS

- **KINECT 2**
- **GONIOMETER**
- **VIRTUAL REALITY**
- **BODY MOVEMENT**

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Uno de los dispositivos de tracking óptico más populares y de bajo costo es el Kinect 2.0 de Microsoft, por ser un dispositivo con grandes características y con un extra que lo hace uno de los mejores en la actualidad como mencionan (Hachaj, Ogiela, & Koptyra, 2015) “Las cámaras de profundidad multimedia están entre la mayoría de los accesorios más populares para los ordenadores personales y consolas de juegos” (p. 1), demostrando que este equipo es uno de los mejores a la hora de hacer tracking óptico y desarrollo de aplicaciones con detección de cuerpos en movimiento.

También afirma brevemente que el Kinect es un equipo de grandes prestaciones en la actualidad, con características de procesamiento únicas y de bajo costo mencionado en (Hachaj, Ogiela, & Koptyra, 2015) que “A pesar de que Kinect fue inicialmente diseñado para ser un control de juegos, su potencia como también la propuesta general de bajo costo con una cámara de profundidad, fue rápidamente noticia” (p. 1), permitiendo estar a la vanguardia de las tecnologías que están siendo noticia en todo el mundo.

Cabe mencionar que (Hachaj, Ogiela, & Koptyra, 2015) detallan las distintas aplicaciones del Kinect como son: en la medicina, en la educación, en control de brazos robóticos, en soluciones de casas inteligentes, juegos, en detección de posturas corporales humanas, etc. Como también en todo su trabajo se enfoca en una aplicación específica, que es en la ilustración de gestos y reconocimiento de acciones en las técnicas de karate Oyama.

Uno de los artículos científicos más semejantes a la propuesta del proyecto de investigación es de (Velarde, Perugachi, Vintimilla, & Romero), que presentan un sistema de Análisis del Movimiento de las Extremidades Superiores del cuerpo

humano, evaluando los ángulos por medio de los arcos de movilidad de los distintos vectores que tienen las extremidades superiores, mostrando por medio de un histograma, ángulos en función del tiempo, visualizando la curva de trabajo en cada sesión de rehabilitación del paciente. Se debe tomar en cuenta que este trabajo se realizó con Kinect 1.0, el cual no permite determinar la orientación de las extremidades superiores y sus puntos de referencia son distintos a los entregados por el Kinect 2.0.

En su trabajo final de maestría (Mejía Luna, 2012) con el tema “REALIDAD VIRTUAL, Estado del arte y análisis crítico”, analiza los parámetros de la realidad virtual, sus orígenes así como también las ventajas que trae con la implementación de esta tecnología en el área médica. Es de gran aporte esta investigación porque permite evaluar la factibilidad del sistema y su impacto en la sociedad. Cabe resaltar que este documento permite tener una visión amplia de cada aplicación de la realidad virtual que detalla en su contenido, además de la gran investigación que se llevó a cabo para producirlo.

En su artículo científico (Cortés, Aguilar, & Dueñas) con el tema: “Diseño de Algoritmo para Rehabilitación Virtual basado en la Cámara Kinect”, muestra una secuencia de pasos donde nos exponen algunos algoritmos utilizados por ellos, demostrando así una información guía a la hora de realizar un sistema de realidad virtual y todos los parámetros necesarios para evitar posibles errores en la captura de datos con el dispositivo Kinect. El dispositivo con el que trabajan en el artículo científico es el Kinect 1, que es la versión anterior del dispositivo a utilizar durante toda la investigación.

En la tesis de (Chuya , Cuenca, & Delgado, 2013) con el tema “Diseño e implementación de un sistema para el análisis del movimiento humano usando sensores Kinect”, presentan un gran aporte a este proyecto de investigación, ya que los métodos para validar datos son una guía fundamental para el desarrollo de este proyecto, como también el enfoque que presenta en cada capítulo, donde con datos y teoría demuestra puntos valiosos de análisis del Kinect 1.0, que servirán de aporte a la comparación con el trabajo realizado con el Kinect 2.0.

1.2 Planteamiento del problema

En la actualidad a nivel mundial se están desarrollando innumerables sistemas de realidad virtual aplicado en la medicina, lo que permite tener una variedad en información acerca de la utilización de la tecnología Kinect en su primera versión, un ejemplo es la información de la tesis doctoral con el tema “Rehabilitación Virtual Motora: una Evaluación al tratamiento de pacientes con Daño Cerebral Adquirido” (Albiol Pérez, 2014), demostrando la evolución que se genera entre la medicina y la tecnología.

En el Ecuador la falta de instrumentos digitales actuales y de bajo costo en los diferentes centros de rehabilitación, ha ocasionado un retraso tecnológico en el área de la medicina, ya que todavía médicos del país trabajan de una manera antigua, con instrumentos de medición de movimiento físicos y al criterio del mismo galeno, lo que ocasiona que la fiabilidad de detección de patologías y seguimiento de la evolución del paciente sea poco confiable.

En el país existen varios artículos científicos, tesis y proyectos de investigación acerca de sistemas de análisis de movimiento humano, lo que permite estar a la vanguardia de los temas de investigación actuales, pero la tecnología está en continua evolución, lo que permite que se compare, evalúe y mejore los artículos que se utilizaron como referencia en este proyecto con tecnologías actuales.

En la ciudad de Latacunga, en el área de fisioterapia de los centros de rehabilitación, no se trabaja con sistemas tecnológicos de tracking óptico, lo que genera una desactualización tecnológica y ocasiona inconvenientes a la hora de validar seguimientos y diagnósticos a pacientes digitalmente, por lo que el sistema a implementar debe ser un instrumento para el fisiatra, donde se muestren los respectivos datos de las articulaciones afectadas y ayude a determinar la evolución del tratamiento del paciente.

1.3 Justificación

La evaluación del movimiento corporal humano es una tarea médica de alta complejidad para los galenos especializados en fisioterapia, ya que el trabajo conjunto de áreas como la medicina física y la medicina de rehabilitación, originaron la necesidad de utilizar instrumentos evaluadores de movimiento como es el ejemplo del goniómetro.

Como menciona (González García, 2012), una de las prioridades de la fisioterapia es la ejecución de “pruebas para determinar las capacidades funcionales, la amplitud del movimiento articular y medidas de la capacidad vital, así como ayudas diagnósticas para el control de la evolución” (p. 75), demostrándonos que las rehabilitaciones necesitan tanto del conocimiento del fisiatra, como también de instrumentos fiables, para así tener un diagnóstico verídico y un seguimiento de la evolución del paciente.

En la actualidad, la incorporación de dispositivos de tracking óptico en el área de la medicina, ha revolucionado la innovación de proyectos en todo el mundo; ya que, los dispositivos de bajo costo, ayudan a mejorar la calidad, seguridad y fiabilidad de los diferentes servicios médicos, permitiendo así que la medicina esté estrechamente relacionada con la tecnología, construyendo de esta forma una continua evolución en el área médica.

Las características del Kinect 2.0 como la captura de imagen a color en HD, imagen infrarroja, imagen de profundidad, captura de audio y detección de cuerpos humanos; demuestra que este equipo es uno de los más completos en dispositivos de tracking óptico, resaltando así su bajo costo, que es sumamente accesible en función de las prestaciones y futuras aplicaciones que se desarrollen con el mismo equipo, pero en distintas áreas.

1.4 Importancia

La utilización de la tecnología de tracking óptico de bajo costo como es el Kinect 2.0 de Microsoft, en conjunto con sistemas basados en realidad virtual, servirá para implementar un sistema que permita al fisiatra tener un instrumento virtual de evaluación de movimiento corporal, ayudando a validar los tratamientos ofrecidos por los profesionales de esa área en tiempo real.

La solución tecnológica será capaz de ofrecer al fisiatra una retroalimentación a nivel visual, con el objetivo de valorar la dificultad del paciente a la hora de realizar posiciones y posturas. El sistema será capaz de mostrar un conjunto de datos en una imagen, que el fisiatra tendrá que analizar y determinar la posible patología del paciente.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema de realidad virtual basado en la tecnología Kinect 2.0 para la evaluación del movimiento corporal humano.

1.5.2 Objetivos específicos

- Investigar los distintos entornos de desarrollo de realidad virtual que ofrece Microsoft Visual Studio 2013 con Kinect 2.0.
- Investigar algoritmos de análisis, detección y evaluación del movimiento corporal humano con Kinect 2.0.
- Diseñar la interfaz de realidad virtual para la evaluación del movimiento corporal humano en Microsoft Visual Studio 2013.
- Desarrollar algoritmos de análisis, detección y evaluación del movimiento corporal humano en Microsoft Visual Studio 2013 con Kinect 2.0.

- Validar con instrumentos físicos, los datos obtenidos del sistema de realidad virtual.
- Implementar pruebas de funcionamiento del sistema de realidad virtual.

1.6 Alcance

En el presente proyecto de investigación se presenta un instrumento virtual de evaluación de movimiento corporal humano, goniómetro virtual, el cual es una herramienta necesaria para identificar los puntos ejes de las articulaciones, evaluar los arcos de movimiento por medio de las mediciones de los ángulos en los distintos planos de vistas y así entregar un registro visual que puede ser guardado en el ordenador.

Cada registro visual está compuesto solo por una imagen, la cual está constituida por tres planos de vista: frontal, lateral izquierda y superior, también tiene un cuadro de texto donde están todos los datos en forma descriptiva; adicionalmente se permite almacenar dicho registro en formato PNG en el ordenador.

Todo lo descrito anteriormente permite que el fisiatra determine con mayor eficiencia la patología de los pacientes y genere su respectivo archivo con todos los casos médicos de forma digital, teniendo así un registro visual de respaldo y de ser el caso, almacenar patologías especiales que puedan ser analizadas en reuniones médicas a futuro.

A continuación se enlista los alcances a realizar en el proyecto de investigación:

- Determinar el mejor lenguaje de programación a utilizar en el sistema de realidad virtual, en Microsoft Visual Studio 2013 con Kinect 2.0, para el desarrollo de la herramienta de goniómetro virtual multipunto.
- Diseñar e implementar una interfaz HMI de realidad virtual en Microsoft Visual Studio 2013.

- Diseñar e implementar los algoritmos de análisis, detección y evaluación de movimiento corporal humano en Microsoft Visual Studio 2013.
- Desarrollar pruebas a los algoritmos de análisis, detección y evaluación de movimiento corporal humano como goniómetro virtual multipunto.
- Desarrollar pruebas de funcionalidad del goniómetro virtual multipunto.
- Elaborar un manual de uso de la Aplicación.

1.7 Hipótesis

El sistema de realidad virtual basado en la tecnología Kinect 2.0 permitirá evaluar el movimiento corporal humano.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Realidad virtual

2.1.1 Conceptos

La realidad virtual (RV) o en inglés Virtual Reality, no tiene un concepto definido, ya que varios autores lo acoplan a las distintas áreas de aplicación, por lo que a continuación se citan algunos conceptos:

En el primer concepto, Burdea (1993) presenta una definición de sistema de realidad virtual enfocado en los parámetros necesarios para un correcto funcionamiento:

“Un sistema de realidad virtual es una interfaz que implica simulación en tiempo real e interacciones mediante múltiples canales sensoriales. Estos canales sensoriales son los del ser humano: la vista, el oído, el tacto, el olfato y el gusto” (Mejía Luna, 2012, pág. 23).

Para el siguiente concepto, Mahiques (2000) presenta una definición relacionada al área de informática, exponiendo que un sistema de realidad virtual es:

“Un entorno generado por el computador en el que los participantes ‘pueden entrar físicamente’, es decir, estar presentes e interactuar con él, desplazándose por su interior o modificándolo de cualquier forma” (Mejía Luna, 2012, pág. 23).

Para finalizar, el concepto de realidad virtual mencionado por Anders (2007), se enfoca en demostrar la perspectiva que el usuario percibe, donde:

“La RV engloba toda una ontología de telepresencia, de inmersión sensorial e inmaterial de conectividad, que permite cambios en la manera como nos vemos, el modo de comportarnos y los entornos que queremos habitar” (Mejía Luna, 2012, pág. 23).

2.1.2 Diseño

En el diseño de aplicaciones de realidad virtual es fundamental enfocarse especialmente en el diseño de interfaces, ya que es la interfaz “la zona de contacto entre dos entidades” (Mejía Luna, 2012, citado en Laurel, 1990), teniendo en cuenta que las dos entidades son el usuario y el entorno virtual, los cuales tienen como objetivo poseer una comunicación clara y efectiva.

a. Requisitos

Existen tres requisitos fundamentales a la hora del diseño de una interfaz de realidad virtual:

- **MAPEO.-** Es la forma como se conectan los canales sensoriales del usuario, con las acciones de estímulos y control que se percibe gracias a la experiencia de interacción.
- **INTERFACES DE HARDWARE.-** Son las formas de contacto entre dos entidades: el sistema informático y el usuario. En otras palabras, es el instrumento que permite la interacción entre el humano y el ordenador. Las interfaces de hardware pueden clasificarse en los periféricos de entrada y los periféricos de salida.
- **INTERFACES DE SOFTWARE.-** Una interfaz de software es un elemento informático que permite visualizar las acciones que realiza el usuario con la interfaz física. En otras palabras, es la creación de objetos digitales que simulan el proceso físico del usuario en tiempo real.

b. Fases de diseño

La realidad virtual tiene una función destacada, que no es solo la simulación, sino también el análisis e interpretación de los resultados, ya que un buen sistema de realidad virtual necesita de un correcto funcionamiento tanto en la parte física como también en la lógica, trabajando así en tiempo real y mejorando la experiencia del usuario con la realidad virtual.

Las fases de diseño de una simulación de realidad virtual presentadas por Shannon (1975) en (Mejía Luna, 2012) se visualiza en la figura 1.

- Definición del sistema:**
 - Determinación de fronteras, restricciones y variables que definen el sistema a ser modelado. Concreción del problema a estudiar.
- Formulación del modelo:**
 - Abstracción del sistema de fenómeno de estudio a un diagrama de flujo, que recoja el flujo de información, las estructuras condicionales, los cálculos básicos, etc.
- Preparación de los datos:**
 - Identificación de los datos requeridos por el modelo como: tipos de datos, valores iniciales de variables clave, etc.
- Traslación del modelo:**
 - Programación propiamente dicha (generación de código).
- Validación:**
 - Comprobación de que el modelo funciona. Se comparan los resultados obtenidos en la simulación con los resultados obtenidos del sistema fenómeno de estudio. Esto no es factible en simulaciones de sistemas aún no existentes.
- Planificación estratégica:**
 - Se diseña un experimento para poder obtener la información deseada, que supuestamente dará las claves para la comprensión del fenómeno de estudio.
- Planificación táctica:**
 - Se diseñan ejecuciones concretas del experimento. Se preparan diversos conjuntos de variables independientes (entradas) sobre un mismo modelo para obtener distintos conjuntos de variables dependientes (salidas).
- Experimentación:**
 - Ejecución de los diversos pasos por el experimento para obtener unos resultados concretos. Se hacen experimentos de sensibilidad ajustando los parámetros.
- Interpretación:**
 - Es necesario diseñar formas y estrategias para poder interpretar y comprender los resultados.
- Implementación:**
 - Llevar a cabo lo que se ha probado con la simulación.
- Documentación:**
 - Ayuda a facilitar el replicado de los experimentos realizados y la extensión del modelo y el sistema.

Figura 1 Fases de diseño de una simulación

Fuente: (Mejía Luna, 2012)

2.1.3 Características de un sistema de realidad virtual

En un resumen de todos los conceptos planteados se define a la realidad virtual como una interacción generada en tiempo real con estímulos digitales. Este concepto está formado por dos elementos principales: el concepto y el modelo de interacción entorno virtual - usuario. Para lograr el enlace del modelo de interacción de un sistema de realidad virtual, es necesario tomar en cuenta las tres principales características que se muestran en la figura 2.

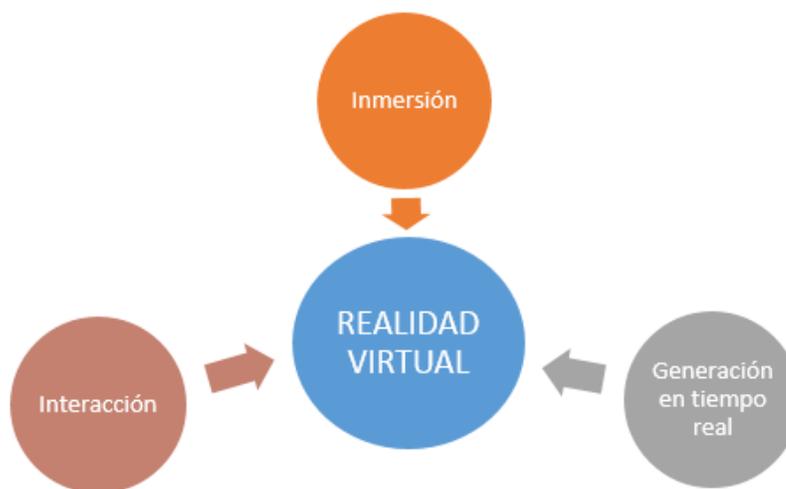


Figura 2 Características de un sistema de realidad virtual

- **Interacción**

Interacción es la posibilidad de cambiar el flujo de eventos de un sistema de realidad virtual que genera unos ciertos estímulos, esta característica permite al usuario manipular el curso de las distintas acciones dentro de una aplicación de realidad virtual, obligando al sistema que responda a los estímulos de la persona; creando así interdependencia entre ellos.

La interacción se divide en tres niveles, los cuales reflejan el nivel de intervención del usuario sobre el entorno virtual y son: la explorativa, la manipulativa y la contributiva.

- **Explorativa:** En este nivel de intervención el usuario tiene los permisos deshabilitados para modificar partes del entorno que explora. El usuario solo puede modificar la posición y la orientación del punto de vista virtual del escenario.

- **Manipulativa:** Permite al usuario tener un acercamiento con el entorno, ya que el sistema de realidad virtual habilita permisos al usuario de manipular los objetos o un subconjunto de ellos, solo desde un punto de vista geométrico. Por ejemplo puede mover, rotar y escalar objetos específicos, sin la necesidad de transformar el entorno virtual.

- **Contributiva:** Es la más compleja y completa de los dos niveles anteriores, ya que habilita al usuario realizar cambios de estado funcional, permitiendo así modificar las cualidades geométricas de los objetos y por ende generar nuevos objetos en el entorno. La consecuencia es que el sistema de realidad virtual generara un nuevo comportamiento.

- **Generación en tiempo real**

Para el sistema de realidad virtual es necesario la generación los diferentes estímulos que el usuario ha configurado en tiempo real, esto permite que el usuario perciba de forma coherente el entorno que está visualizando. Es esta “característica la que diferencia la Realidad Virtual de las otras tecnologías, medios digitales e interactivos” (Mejía Luna, 2012, p. 26).

Los requisitos de generación del entorno virtual son muy altos y requieren de una gran capacidad de cálculo en el ordenador, teniendo en cuenta también las frecuencias de recálculo de cada estímulo; por lo que es necesario tener un ordenador de gama alta para el desarrollo del mismo.

- **Inmersión y presencia**

La idea de inmersión es la sensación que tiene el usuario de estar a dentro del entorno de realidad virtual, por otra parte Zahorik y Jenison (1998) en (Mejía Luna, 2012) presenta que: “La Presencia es equivalente a la acción realizada con éxito en el entorno” (pág. 27), y resalta que: “La acción gestionada con éxito en el entorno es una condición necesaria y suficiente de presencia” (pág. 27), afirmando la importancia de un buen diseño del entorno virtual.

2.2 Kinect

2.2.1 Introducción

Kinect o también conocido por su nombre en clave ‘Project Natal’, es una línea de dispositivos de entrada con sensor de movimiento, desarrollado para las consolas de videojuegos Xbox 360 y Xbox One, como también para computadores con sistema operativo Windows. La función principal que brinda Kinect a los usuarios, es controlar e interactuar sus consolas y ordenadores, sin la necesidad de utilizar los controles tradicionales de videojuegos, gracias a trabajar en una interfaz natural de usuario usando gestos y comandos de voz.

En la actualidad, Kinect ha lanzado al mercado dos versiones de este dispositivo con su respectiva consola de videojuegos. La primera generación del Kinect, como se muestra en la figura 3(a), fue introducida al mercado en Norteamérica el 4 de noviembre de 2010, con la consola de videojuegos Xbox 360.

La segunda generación del Kinect, figura 3(b), fue anunciada el 21 de mayo de 2013 con la nueva consola de videojuegos Xbox One.



Figura 3 (a) Kinect Primera Generación, (b) Kinect Segunda Generación

Fuente: (Microsoft Corporation)

2.2.2 Kinect 1.0 vs Kinect 2.0

Después de presentar el Kinect de primera generación con su consola de videojuegos Xbox 360, tuvieron que pasar casi 3 años para que Microsoft introduzca al mercado una nueva consola de videojuegos Xbox One, con una renovada Kinect de segunda generación, entregando al usuario nuevas características en resolución y aplicaciones. A continuación, se presenta en la tabla 1 la comparación entre estas dos generaciones.

Tabla 1
Comparación Kinect 1.0 - Kinect 2.0

Características	Kinect 1.0	Kinect 2.0
Rango de Profundidad mínima	0.4 m en modo cerca 0.8 m	0.5 m
Rango de Profundidad máxima	3.0 m modo cerca 4.0 m	8.0 m
Resolución de Color	640x480 30fps	1920x1080 30fps
Resolución de Profundidad	320x240	512x424
Resolución de infrarrojo	Ninguno	512x424
Resolución de audio	4 micrófonos 16 kHz	4 micrófonos 48 kHz
USB	2.0	3.0
Número de cuerpos detectados	2	6

CONTINÚA 

Punto de detección corporales	20	25
Detección de manos	Herramienta externa	Si
Detección de rostro	Si	Si con detección de expresión
Campo horizontal de visión	57 grados	70 grados
Campo vertical de visión	43 grados	60 grados
Inclinación	Si	No

Fuente: (Microsoft Corporation)

a. Hardware

Microsoft en el desarrollo del Kinect de segunda generación, para la parte de hardware, propuso una nueva metodología a comparación del Kinect de primera generación; implementando nuevas cámaras en HD como también un nuevo diseño en el emisor de infrarrojo, nueva posición de la matriz de 4 micrófonos y la eliminación del motor de inclinación; entregando así un nuevo dispositivo que permite a los desarrolladores elaborar nuevas aplicaciones.

De forma visual en las figuras 4 y 5, se observa las diferencias en sentido de hardware del Kinect tanto de la primera como segunda generación respectivamente.

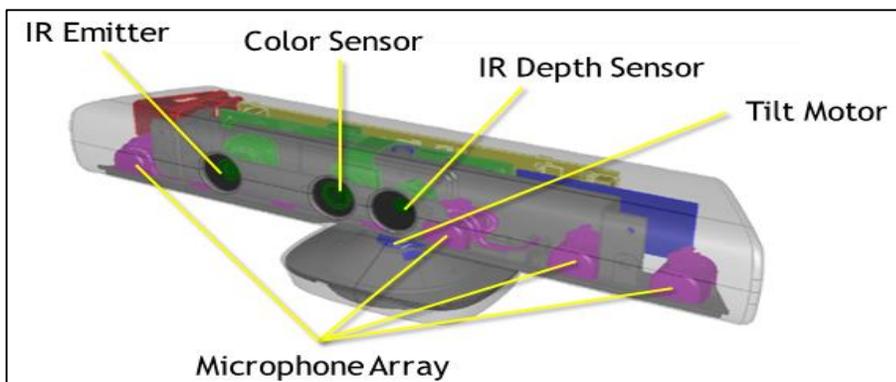


Figura 4 Hardware Kinect Primera Generación

Fuente: (Microsoft Corporation)

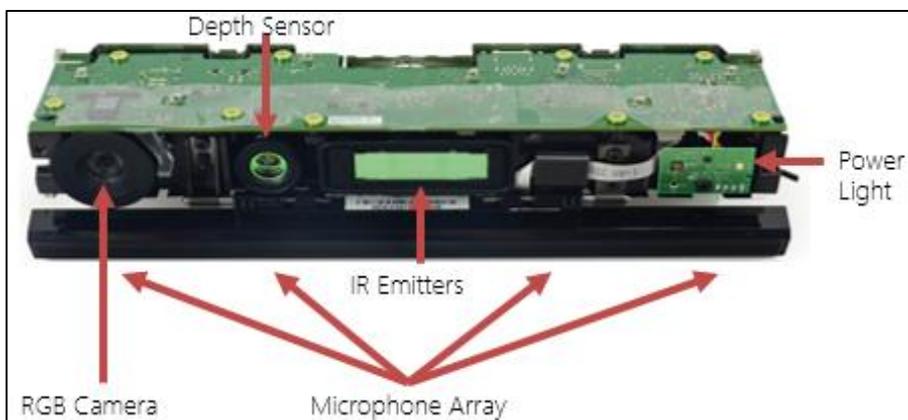


Figura 5 Hardware Kinect Segunda Generación

Fuente: (Ifixit.com)

b. Software

Para la utilización del Kinect en Windows, es necesario de la instalación de un paquete llamado 'Kinect for Windows Software Development Kit' (SDK), este paquete entrega herramientas y APIs, las cuales son necesarias para la realización de aplicaciones en Windows, cabe resaltar que también se necesita de un software de programación como por ejemplo Microsoft Visual Studio.

c. Requerimientos

A continuación, en la tabla 2, se visualiza los requerimientos mínimos del ordenador para realizar la comunicación con el Kinect. Cabe resaltar que para conectar un Kinect a un ordenador es necesario de la utilización de un adaptador específico como se muestra en la figura 6 con salida USB.

Tabla 2
Requisitos del Sistema

Requerimientos		Kinect 1	Kinect 2
CPU	Tipo	Procesador doble núcleo	Procesador i7
	Tecnología	32 bits o 64 bits	64 bits
	Velocidad	2.66 GHz	3.1 GHz

CONTINÚA 

RAM	2 GB	4 GB
GPU	Tarjeta gráfica que soporte DirectX 9	Tarjeta gráfica que soporte DirectX 11
USB	2.0	3.0
Sistemas operativos	Windows 7 Windows 8	Windows 8 Windows 8.1

Fuente: (Microsoft Corporation)

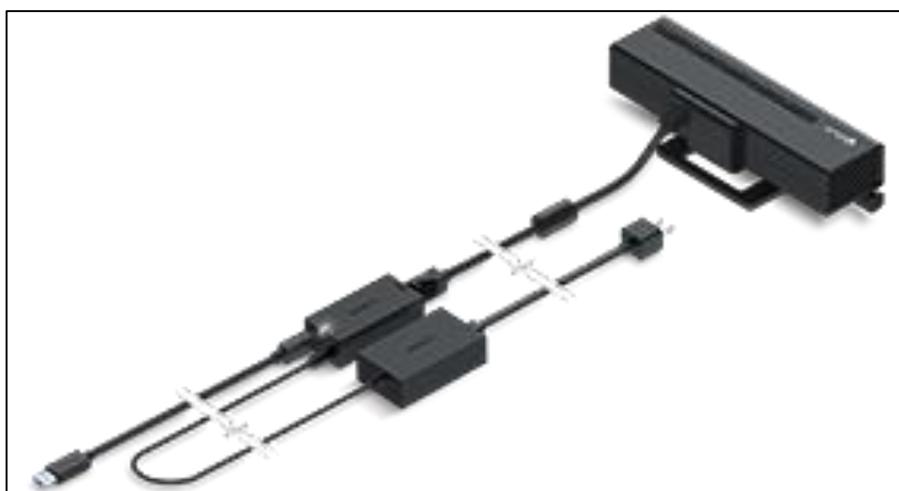


Figura 6 Adaptador del Kinect 2 para Windows

Fuente: (Microsoft Corporation)

2.3 Kinect 2.0

Kinect 2.0 es la segunda generación de dispositivos de entrada de detección de movimiento, desarrollada específicamente para la consola de videojuego Xbox One de la compañía Microsoft como se muestra en la figura 7, introducida al mercado en julio del 2013, teniendo como nuevas características: una nueva cámara con resolución en alta definición, visualización en 3D, una cámara de video tradicional, una matriz de 4 micrófono, un poderoso SDK y la tecnología de reconocimiento de voz.



Figura 7 Kinect de segunda generación

Fuente: (ifixit.com)

2.3.1 Fuentes de datos

Un concepto de fuentes de datos como menciona (Dueñas, 2014) son aquellos instrumentos que surten de datos al ordenador. Kinect 2.0 en sus características principales muestra la innovación de nuevas fuentes de datos a comparación con el Kinect 1.0, permitiendo observar una evolución del dispositivo.

a. Datos de color

En la figura 8 se muestra una imagen a color capturada por el Kinect 2, con las siguientes características:

- Una resolución de 1920 x 1080, alta definición.
- Velocidad de captura es de 30 fps dependiendo de la condición de la luz.

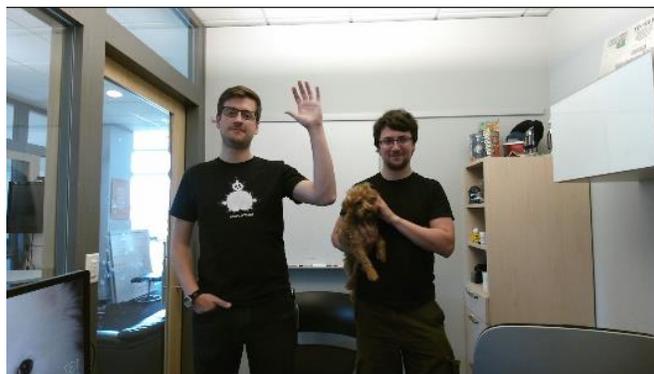


Figura 8 Datos de color

Fuente: (Lower, Relyea, Kaplan, Simari , & Meekhof, 2014)

b. Datos de infrarrojo

En la figura 9 se aprecia la captura de la imagen infrarroja por el Kinect 2, con las siguientes características:

- Resolución de datos de 512 x 424.
- velocidad de captura de 30 fps.
- Remueve la luz ambiental.
- Valor de Intensidad a 16 bits.



Figura 9 Datos de infrarrojo

Fuente: (Lower, Relyea, Kaplan, Simari , & Meekhof, 2014)

c. Datos de profundidad

En la figura 10 se observa la captura de los datos de profundidad del Kinect 2, con las siguientes características:

- Resolución de imagen 512 x 424.
- Velocidad de captura a 30 fps.
- Resolución de distancia de 16 bits en milímetros desde el plano focal del sensor.



Figura 10 Datos de profundidad

Fuente: (Lower, Relyea, Kaplan, Simari , & Meekhof, 2014)

d. Datos de detección de silueta de cuerpos

En la figura 11 se aprecia la captura de la imagen con la detección de silueta de cuerpos por el Kinect 2, con las siguientes características:

- Detecta máximo seis cuerpos simultáneamente.
- Los cuerpos se clasifican desde el dato 0 al 5.
- Velocidad de captura a 30 fps.

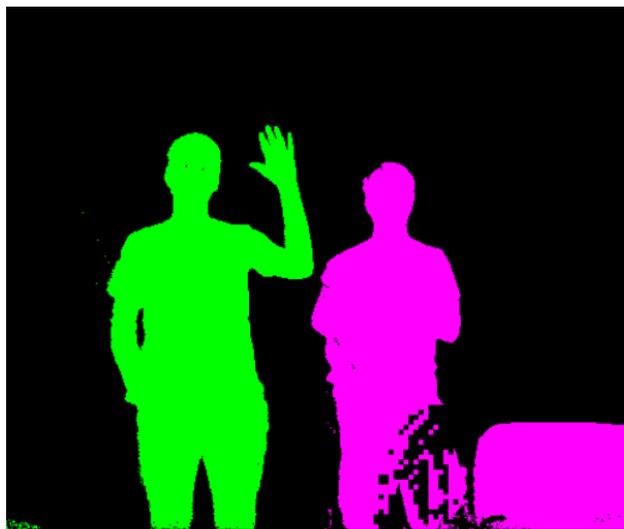


Figura 11 Datos de detección de siluetas

Fuente: (Lower, Relyea, Kaplan, Simari , & Meekhof, 2014)

e. Datos de reconocimiento esquelético de cuerpos

En la figura 12 se aprecia la captura de la imagen con los datos del reconocimiento esquelético de cuerpos por el Kinect 2, con las siguientes características:

- Puede detectar máximo 6 cuerpos simultáneamente.
- Rango de profundidad de detección entre 0.5 a 4.5 metros.
- Detección de 25 puntos de cada cuerpo.
- Por cada punto de detección, captura datos en tres dimensiones.
- Detecta los estados de las manos hasta dos cuerpos.
- Velocidad de captura a 30 fps.



Figura 12 Reconocimiento esquelético

Fuente: (Lower, Relyea, Kaplan, Simari , & Meekhof, 2014)

El reconocimiento esquelético puede detectar hasta 25 puntos como se muestra en la figura 13, los cuales están distribuidos por todo el cuerpo y en la tabla 3 se especifican a detalle.

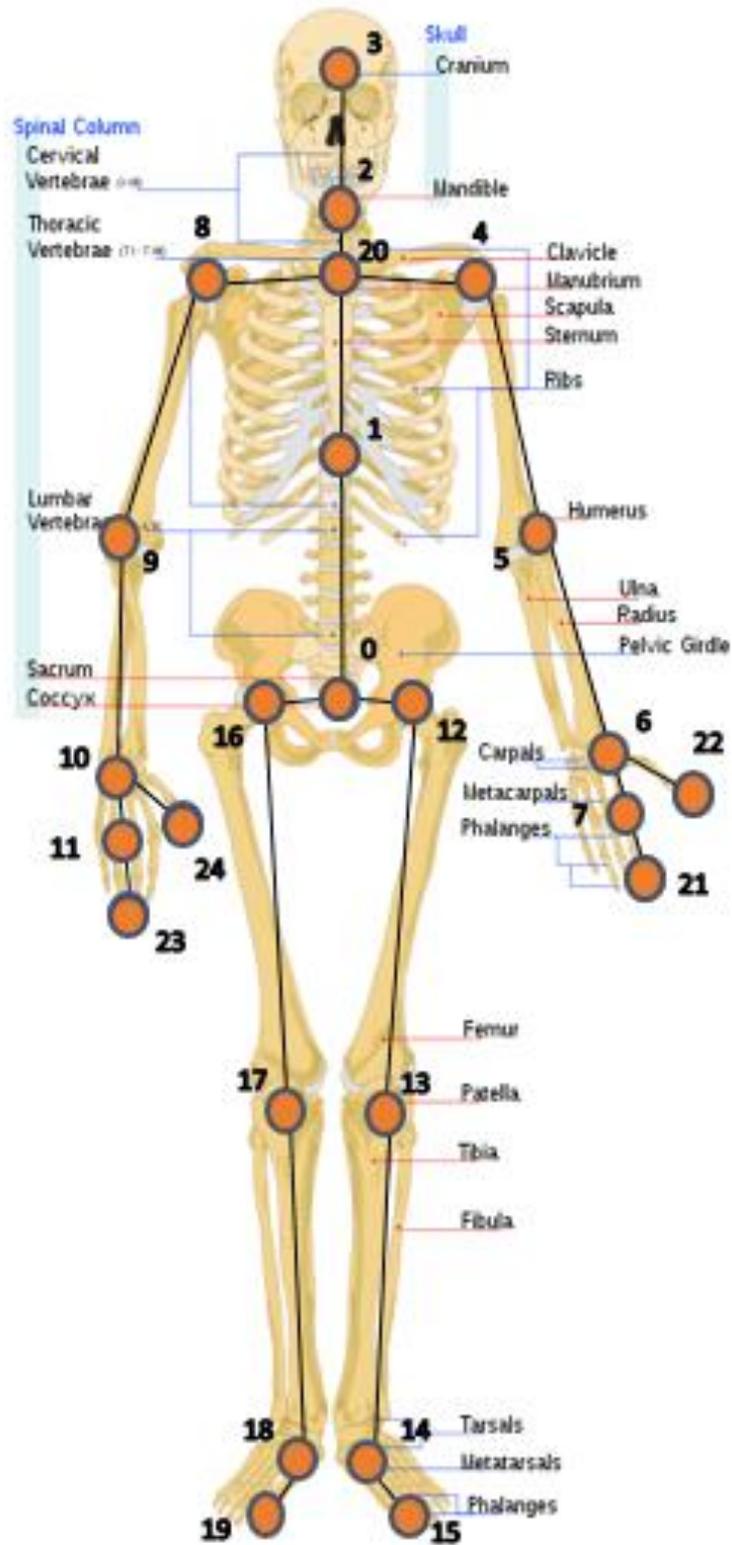


Figura 13 Reconocimiento esquelético
 Fuente: (Lower, Relyea, Kaplan, Simari, & Meekhof, 2014)

Tabla 3
Puntos del reconocimiento esquelético

Número de referencia	Descripción	Número de referencia	Descripción
0	Coxis	13	Rodilla izquierda
1	Mitad de la columna	14	Tobillo izquierdo
2	Cuello	15	Pie izquierdo
3	Cabeza	16	Cadera derecha
4	Hombro izquierdo	17	Rodilla derecha
5	Codo izquierdo	18	Tobillo derecho
6	Muñeca izquierda	19	Pie derecho
7	Mano izquierda	20	Espina dorsal
8	Hombro derecho	21	Dedo medio izquierdo
9	Codo derecho	22	Pulgar izquierdo
10	Muñeca derecha	23	Dedo medio derecho
11	Mano derecha	24	Pulgar derecho
12	Cadera izquierda		

Fuente: (Microsoft Corporation)

f. Datos de audio

Para capturar el audio, se realiza durante un intervalo de tiempo específico, el sensor recibe los sonidos de todas las direcciones, sin embargo, al igual que el cono de luz de un faro donde la luz es el más brillante, el hardware captura el audio que tiene un cono imaginario más grande, mejorando así la captura del audio y eliminando otras fuentes de audio del ambiente.

2.4 Microsoft Visual Studio

“Visual Studio es un conjunto completo de herramientas de desarrollo para la generación de aplicaciones web ASP.NET, Servicios Web XML, aplicaciones de escritorio y aplicaciones móviles. Visual Basic, Visual C# y Visual C++ utilizan todos el mismo entorno de desarrollo integrado (IDE), que habilita el uso compartido de herramientas y facilita la creación de soluciones en varios lenguajes.” (Microsoft Corporation, 2010).

En la figura 14 se muestra la pantalla de trabajo de Microsoft Visual Studio 2013.

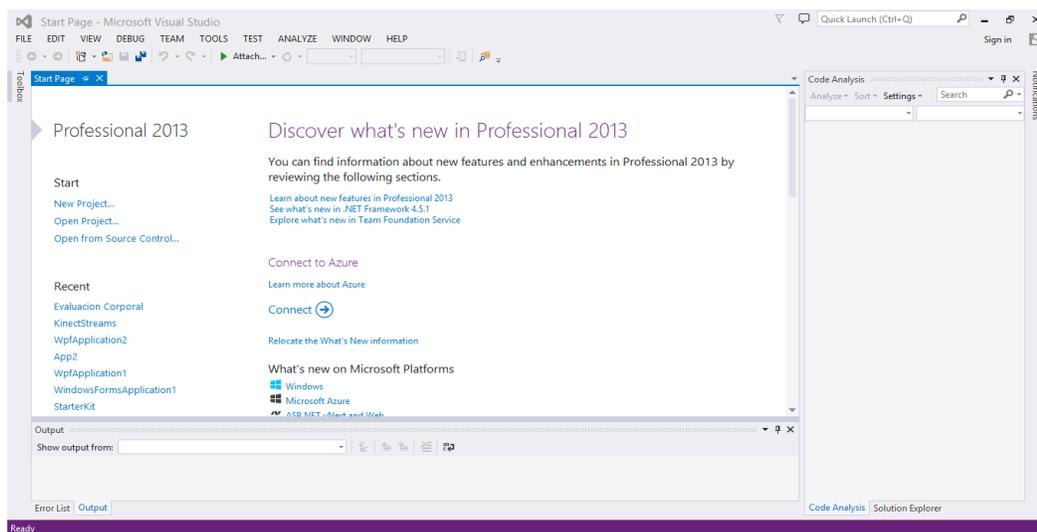


Figura 14 Pantalla de trabajo de Microsoft Visual Studio 2013

2.4.1 Lenguajes de programación

Visual Studio es un software muy completo, gracias a que actualmente posee varios lenguajes de programación, los cuales son los siguientes como se muestra en la figura 15:

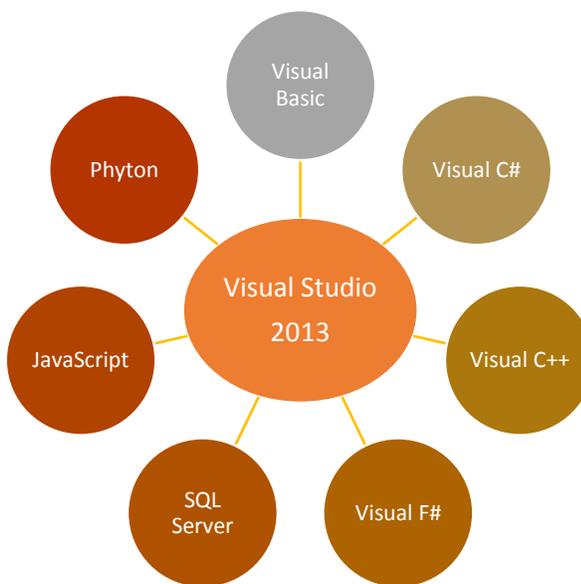


Figura 15 Lenguajes de Visual Studio
Fuente: (Microsoft Corporation, 2013)

En la tabla 4, se muestra un pequeño concepto de los lenguajes de programación de Visual Studio.

Tabla 4
Lenguajes de programación Visual Studio

Lenguaje de programación	Concepto
Visual Basic y Visual C#	<p>Visual Basic y C# son lenguajes de programación diseñados para crear muy diversas aplicaciones que se ejecutan en .NET Framework.</p> <p>Se trata de lenguajes eficaces, que presentan seguridad de tipos y están orientados a objetos. Permiten a los desarrolladores crear aplicaciones Windows, web y móviles.</p>
Visual C++	<p>El lenguaje Visual C++ y las herramientas de desarrollo ayudan en el desarrollo de aplicaciones de la Tienda Windows nativas, aplicaciones de escritorio nativas y aplicaciones administradas que se ejecutan en .NET Framework.</p>
Visual F#	<p>F# es un lenguaje de programación que proporciona compatibilidad con la programación funcional así como con la programación convencional orientada a objetos e imperativa (de procedimiento).</p> <p>El producto Visual F# permite desarrollar aplicaciones en F# y extender otras aplicaciones de .NET Framework mediante código F#.</p>
JavaScript	<p>JavaScript es un lenguaje de primera clase en Visual Studio 2013.</p> <p>Puede usar la mayoría de las ayudas de edición estándar al escribir código JavaScript en el IDE de Visual Studio.</p>

Fuente: (Microsoft Corporation, 2013)

2.4.2 Entornos de desarrollo de realidad virtual

Microsoft Visual Studio 2013 nos ofrece varios entornos para el desarrollo de aplicaciones de realidad virtual, los más mencionados son:

- Visual C# con WPF
Trabaja con un entorno elaborado por el programador, generando sus propios ciclos de creación de objetos.
- Visual C++ con DirectX
Trabaja con ciclos de renderización por defecto, los cuales no se pueden modificar, ya que es la base de la creación de los objetos en tercera dimensión.

2.5 Evaluación del movimiento corporal humano

Las mediciones angulares tienen gran importancia en la metrología dimensional para conocer las características de orientación de planos, ejes y líneas. La medición y trazado de ángulos en elementos geométricos, se efectúan con instrumentos que tienen una precisión en minutos de unidad angular. (Chávez, Mejía, & Pacheco, 2005)

Una forma de evaluación de movimiento corporal humano es por medio de la flexibilidad, donde (Garatachea Vallejo, 2012) indica una clasificación a la medición de la flexibilidad diciendo que: “Para la valoración de la Flexibilidad se han ideado instrumentos para medirla de forma directa y se han desarrollado ejercicios para mediciones indirectas”. Uno de los instrumentos de medición de flexibilidad directa más utilizados es el goniómetro.

2.5.1 Goniómetro

El goniómetro es el instrumento más utilizado para medir la flexibilidad de una articulación de forma directa, puesto que mide el rango de movimiento, el ángulo máximo que una articulación puede alcanzar. El goniómetro es similar a un

medidor de ángulo con dos ramas móviles, se muestra en la figura 16 un goniómetro clásico.

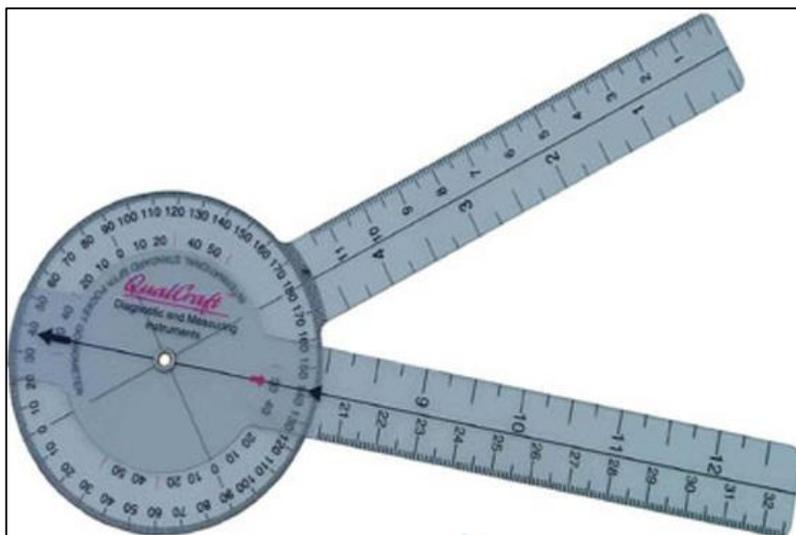


Figura 16 Goniómetro

Fuente: (Nexthealth)

En la actualidad se ha desarrollado goniómetros digitales que permiten visualizar el ángulo de medición en un display como se muestra en la figura 17.



Figura 17 Goniómetro Digital

Fuente: (Quirumed)

a. Estructura

El goniómetro está compuesto por a las siguientes partes como se muestra en la figura 18:

- Regla fija.
- Regla móvil.
- Cuerpo.
- Eje.

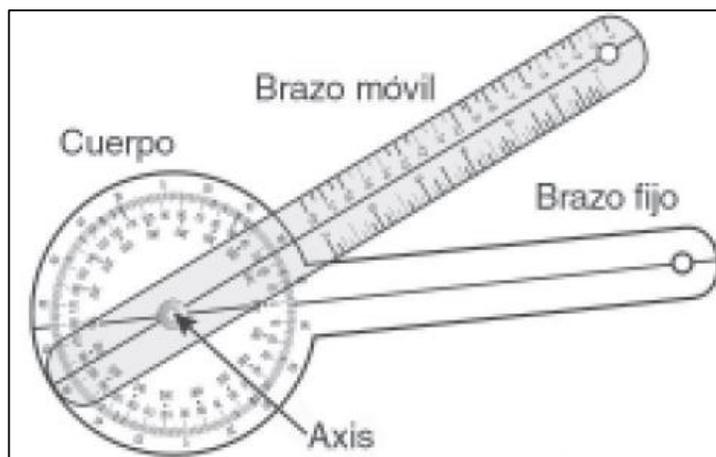


Figura 18 Partes del goniómetro

Fuente: (Taboadela, 2007)

b. Utilización

El centro del goniómetro se hace coincidir con el eje de la articulación. Las ramas móviles se hacen coincidir con el eje longitudinal de cada segmento que forma la articulación. El rango de movimiento es el ángulo que forman los dos segmentos de la articulación medido en los extremos del movimiento. En la figura 19 muestra la forma correcta de utilización del goniómetro en la extremidad superior, mientras en la figura 20 la utilización del goniómetro en la extremidad inferior.

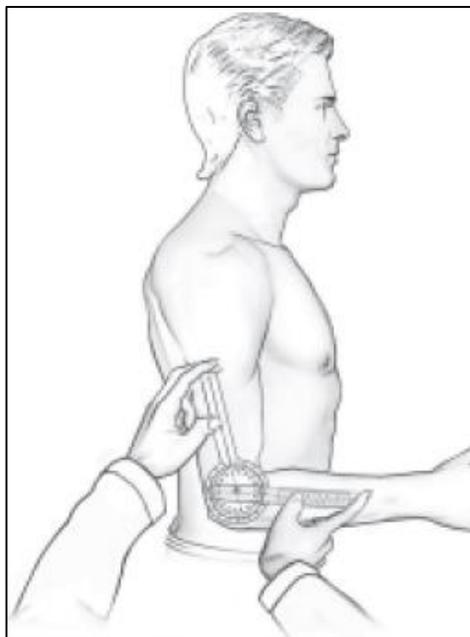


Figura 19 Utilización del goniómetro extremidad superior

Fuente: (Taboadela, p. 32)

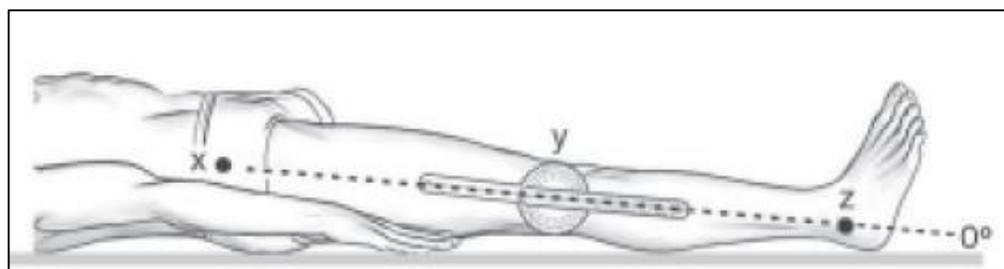


Figura 20 Utilización del goniómetro extremidad inferior

Fuente: (Taboadela, p. 31)

CAPÍTULO III

DISEÑO Y METODOLOGÍA

3.1 Metodología

Para el presente proyecto de investigación se utiliza la metodología experimental, ya que se realiza varias pruebas de adquisición de datos como validación de los mismos, esto permite realizar por etapas la programación del proyecto, desarrollando así la estructura y diseño de las funciones necesarias para conseguir la detección del movimiento corporal humano.

También se utiliza como metodología, las fases de diseño de simulación de realidad virtual propuesto por (Mejía Luna, 2012, citado en Shannon 1975), donde aplicamos directamente al proceso del diseño del programa, permitiendo así obtener una idea clara de los parámetros necesarios, como también de la estructura final del programa denominado como goniómetro virtual multipunto.

3.1.1 Metodología experimental

La experimentación es el método del laboratorio científico, donde los elementos manipulados y los efectos observados pueden controlarse para provocar el fenómeno o para estudiarlos en situaciones en que naturalmente no se presentan. (Gutiérrez, p. 27)

Las variables son condiciones que manipula, controla y observa el experimentador. Existen las siguientes clases:

- **Las variables independientes** son los factores que manipula el investigador para inducir modificaciones en ciertas circunstancias que intervienen en un proceso, es como la causa de los resultados.
- **La variable dependiente** es el factor o efecto producido como consecuencia de la manipulación de las variables independientes. Esta

variable aparece, desaparece o cambia cuando el experimentador, retira o cambia las variables independientes.

- **Las variables extrañas** están conformadas por todos aquellos factores que suceden al azar y que pueden alterar los resultados. Esta puede ser controlada eliminándola completamente.

A continuación, se presenta en la figura 21 los parámetros de operación del experimento.

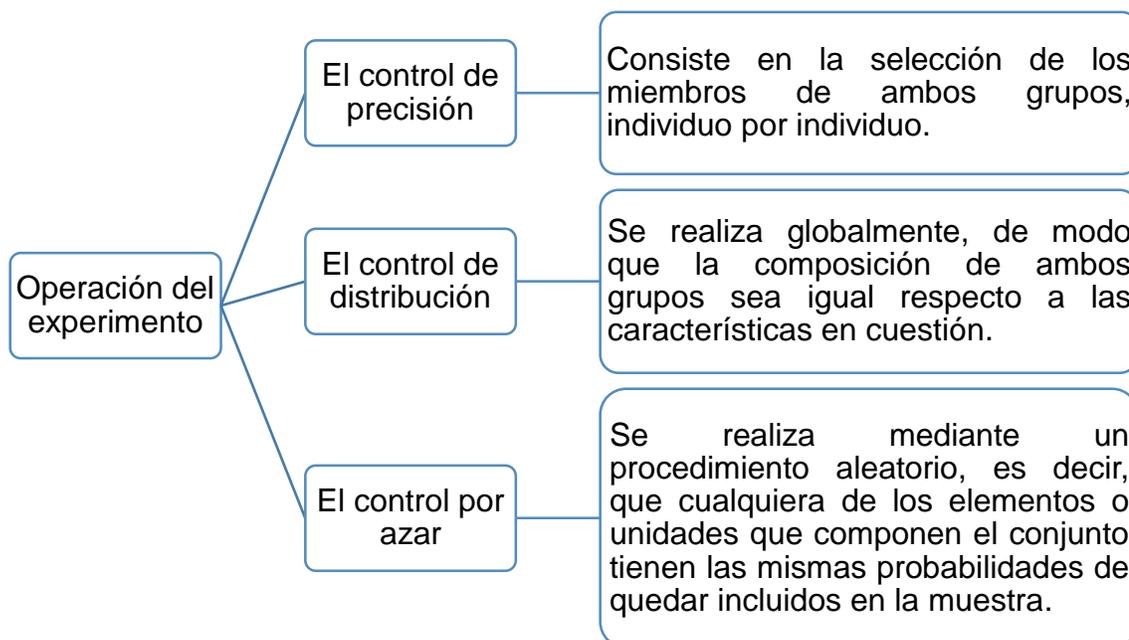


Figura 21 Operación del experimento

Fuente: (Gutiérrez)

3.2 Diseño del sistema de Realidad Virtual

Las fases de diseño de simulación de realidad virtual propuesto por (Mejía Luna, 2012, citado en Shannon 1975) visualizadas en la figura 22, permite tener un enfoque claro de los parámetros necesarios para el diseño del sistema, por lo cual, a continuación, se detalla cada uno de estos parámetros, en función de las

necesidades presentadas por el sistema denominado goniómetro virtual multipunto.

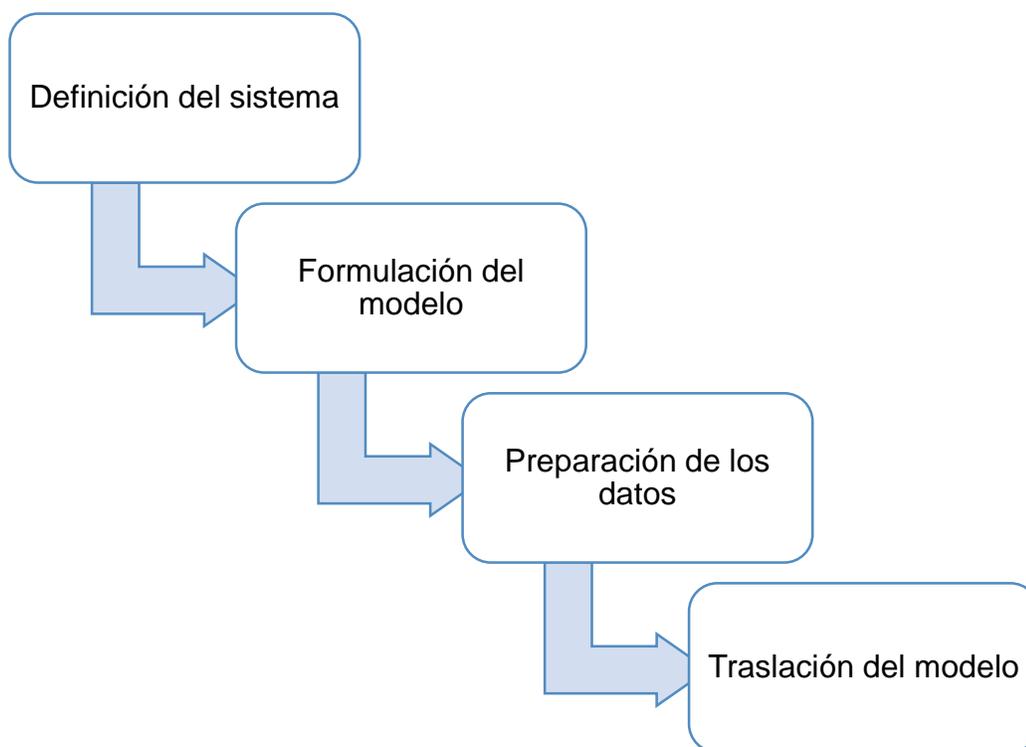


Figura 22 Fases de diseño de simulación de realidad virtual

Fuente: (Mejía Luna, 2012, págs. 17,18)

3.2.1 Definición del sistema

a. Frontera

Para determinar la frontera de sistema, se basa en la función principal del goniómetro, la evaluación de los ángulos de movimiento del cuerpo. Gracias a que el Kinect de segunda generación nos entrega 25 puntos de detección del cuerpo, permite así, que el sistema trabaje con varios puntos ejes de evaluación corporal en tiempo real y sin la necesidad de añadir un instrumento a la persona. Para especificar el área de trabajo del sistema, se considera solo la evaluación de los ángulos de las extremidades superiores.

b. Requisitos

Para los requisitos del sistema de realidad virtual denominado goniómetro virtual punto, se toma en cuenta los requisitos que se ilustran en la tabla 5.

Tabla 5
Equipos del sistema

Requisitos	Instrumentos o equipos	Descripción
Mapeo	<ul style="list-style-type: none"> • Monitor 	Para el mapeo se utiliza una interfaz gráfica por medio de un monitor, la cual genera estímulos visuales permitiéndole observar el movimiento corporal y su evaluación en tiempo real.
Interfaz de hardware	<ul style="list-style-type: none"> • Kinect 2.0 	Para la interacción entre el humano y el ordenador, se trabaja con el dispositivo Kinect de segunda generación, el cual permite obtener una imagen a color en alta resolución, como también los puntos esqueléticos del usuario.
	<ul style="list-style-type: none"> • Adaptador de Kinect 2.0 para Windows 	Permite la comunicación entre la computadora y el Kinect 2.0
	<ul style="list-style-type: none"> • Computadora 	Es el equipo que permite ejecutar el programa.
Interfaz de software	<ul style="list-style-type: none"> • Microsoft Visual Studio 2013 	Es un software muy robusto gracias a manejar varios lenguajes de programación, permitiendo así al programador seleccionar el mejor lenguaje e interfaz de visualización para el desarrollo de la aplicación.
	<ul style="list-style-type: none"> • Kinect para Windows SDK 2.0 	Es un paquete que permite realizar la comunicación entre la computadora y el Kinect 2.0, también tiene una lista de métodos que ayudan a la elaboración de la programación.

c. Restricciones

Las restricciones que se toma en consideración para este sistema son las siguientes:

- Visualización en tiempo real, de los movimientos de una persona en los distintos planos de evaluación corporal (coronal, sagital y transversal), como se visualiza en la figura 23.

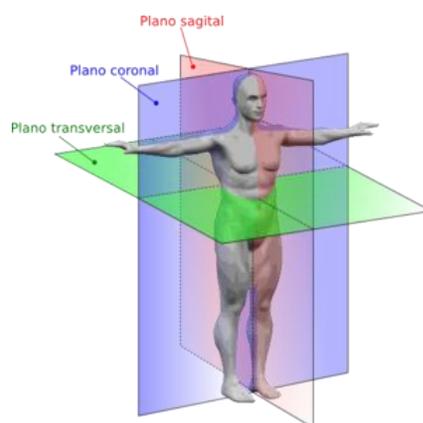


Figura 23 Planos de análisis corporal

Fuente: (Anatomiahumana6qb)

- Clasificación de los distintos puntos ejes de evaluación de movimiento corporal, por medio de la valoración de las extremidades y la posición del mismo, obteniendo la siguiente clasificación:
 - Extremidad superior derecha.
 - Extremidad superior izquierda.

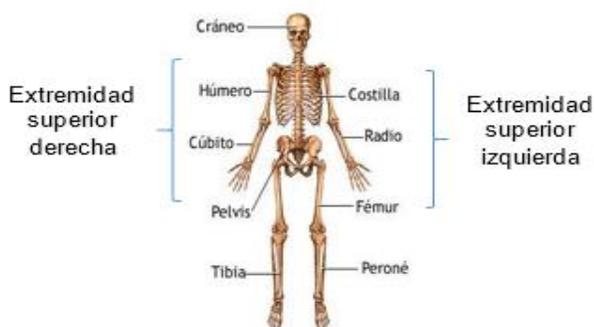


Figura 24 Clasificaciones de extremidades

Fuente: (Wordpress)

- Visualización de los ángulos presentes en cada una de las extremidades superiores, como también su valoración en los distintos planos.
 - Ángulo evaluado en tres dimensiones.
 - Ángulo evaluado en el plano XY o plano coronal.
 - Ángulo evaluado en el plano YZ o plano sagital.
 - Ángulo evaluado en el plano XZ o plano transversal.

Cabe resaltar, que estos cuatros ángulos se evalúan desde el eje del hombro como también del eje del codo en extremidades superiores.

- Especificaciones de las distintas referencias para los ángulos.
 - **Hombro, plano coronal**
Para el eje de evaluación de movimiento ubicado en el hombro con vista frontal, se crea un vector referencia en el eje -Y, el cual esta dibujado en líneas entrecortadas como se visualiza en la figura 25.

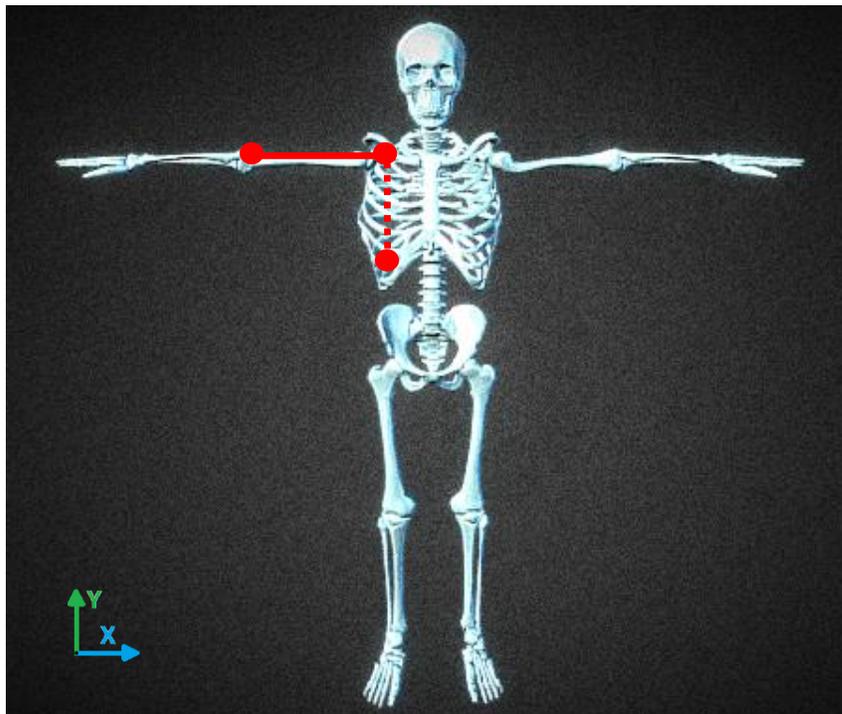


Figura 25 Referencia hombro, plano coronal

Fuente: (Makeamo, 2016)

- **Hombro, plano Sagital.**

Para la evaluación de movimiento del brazo, con eje en el hombro desde una vista lateral izquierda, se crea un vector referencia en el eje -Y, el cual esta dibujado en líneas entrecortadas como se visualiza en la figura 26.



Figura 26 Referencia hombro, plano sagital

Fuente: (Makeamo, 2016)

- **Hombro, plano transversal.**

Para la evaluación de movimiento del brazo, con eje en el hombro desde una vista superior, se crea un vector referencia en el eje X con dirección opuesta a la ubicación del húmero, el cual esta dibujado en líneas entrecortadas como se visualiza en la figura 27.

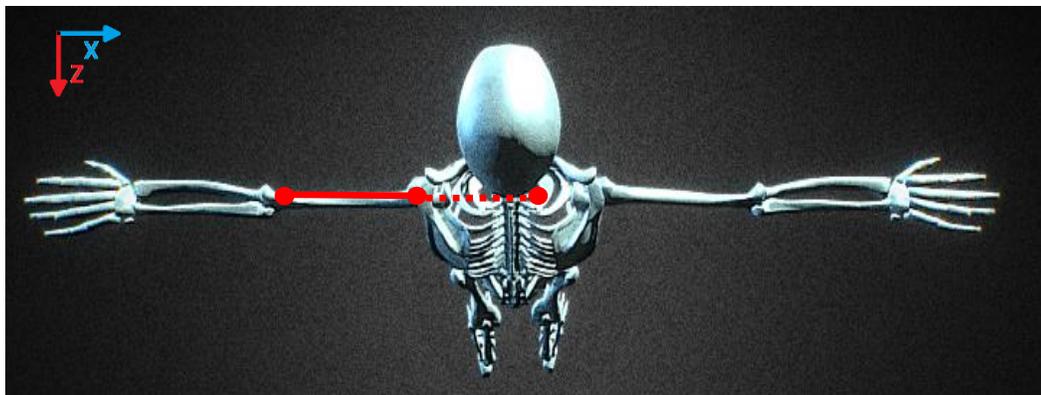


Figura 27 Referencia hombro, plano transversal

Fuente: (Makeamo, 2016)

- **Codo, plano coronal**

Para la evaluación de movimiento del antebrazo, con eje en el codo desde una vista frontal, se crea un vector de referencia en el húmero, el cual está dibujado en líneas entrecortadas como se visualiza en la figura 28.

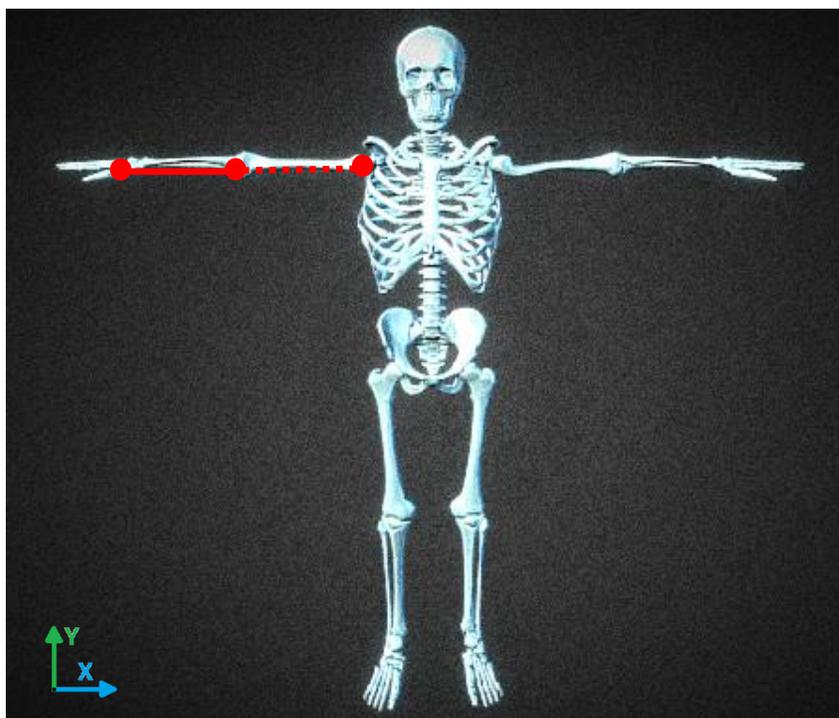


Figura 28 Referencia codo, plano coronal

Fuente: (Makeamo, 2016)

- **Codo, plano sagital**

Para la evaluación de movimiento del antebrazo, con eje en el codo desde una vista lateral izquierda, se crea un vector de referencia en el húmero, el cual está dibujado en líneas entrecortadas como se visualiza en la figura 29.

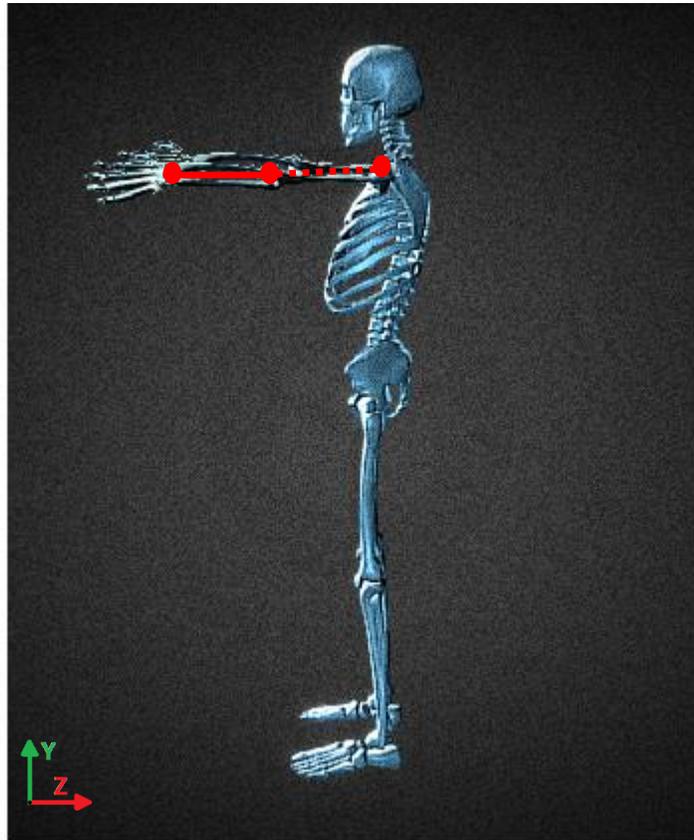


Figura 29 Referencia codo, plano sagital

Fuente: (Makeamo, 2016)

- **Codo, plano transversal**

Para la evaluación de movimiento del antebrazo, con eje en el codo desde una vista superior, se crea un vector de referencia en el húmero, el cual está dibujado en líneas entrecortadas como se visualiza en la figura 30.

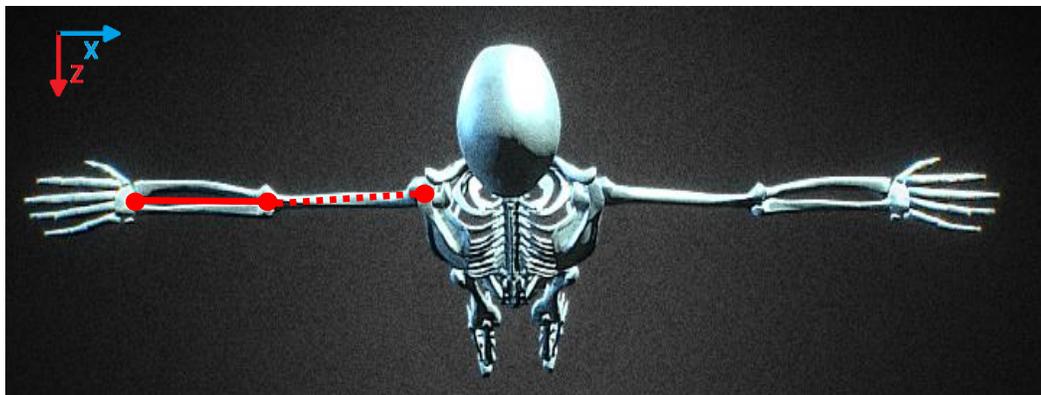


Figura 30 Referencia hombro, plano transversal

Fuente: (Makeamo, 2016)

d. Variables

Para la selección de las distintas variables del sistema, se analiza los datos fuentes que entrega el Kinect 2, como también los datos necesarios para un correcto funcionamiento en el algoritmo de detección de datos. En la tabla 6, se muestra las variables más relevantes del sistema.

Tabla 6
Variables del sistema

Nombre	Descripción	Tipo	Tamaño Arreglo
crDataConverted	Conversión de datos fuentes de color del Kinect 2 a un arreglo.	Arreglo unidimensional de Byte	8294400
crBitmap	Representar un mapa de bits en fotografías.	WriteableBitmap	2073600
Bodies	Almacena los datos de la detección de cuerpo por el Kinect 2	Body	6
body	Almacena los datos de los distintos puntos de los cuerpos	Body	25

CONTINÚA 

Rawdata	Almacena la posición en pixeles de los distintos puntos de los cuerpos	Arreglo unidimensional de enteros	450
PointChk	Almacena la posición del eje principal a evaluar	Entero	1
BodyChk	Almacena la posición del eje a evaluar	Entero	1
PointString	Almacena el nombre de la extremidad a visualizar	Cadena de caracteres	1
Ang, AngXY, AngYZ , AngXZ, Ang2, AngXY2, AngYZ2 , AngXZ2	Almacena los distintos ángulos evaluados	Enteros	1

3.2.2 Formulación del modelo

Para la formulación del modelo del sistema denominado goniómetro virtual multipunto se realiza varios diagramas de flujo, donde se observa los distintos procesos y subprocesos que realiza el sistema, como también las condiciones e interrupciones esenciales que permiten el buen funcionamiento del sistema.

A continuación, se clasifica los distintos diagramas de flujo:

- Diagrama de flujo principal.
- Diagrama de flujo de interrupciones.
- Diagrama de flujo de detección de ángulos.

a. Diagrama de flujo principal

En la figura 31 se muestra el diagrama de flujo principal del sistema de realidad virtual, como también en la tabla 7 se indica una descripción de los subprocesos.

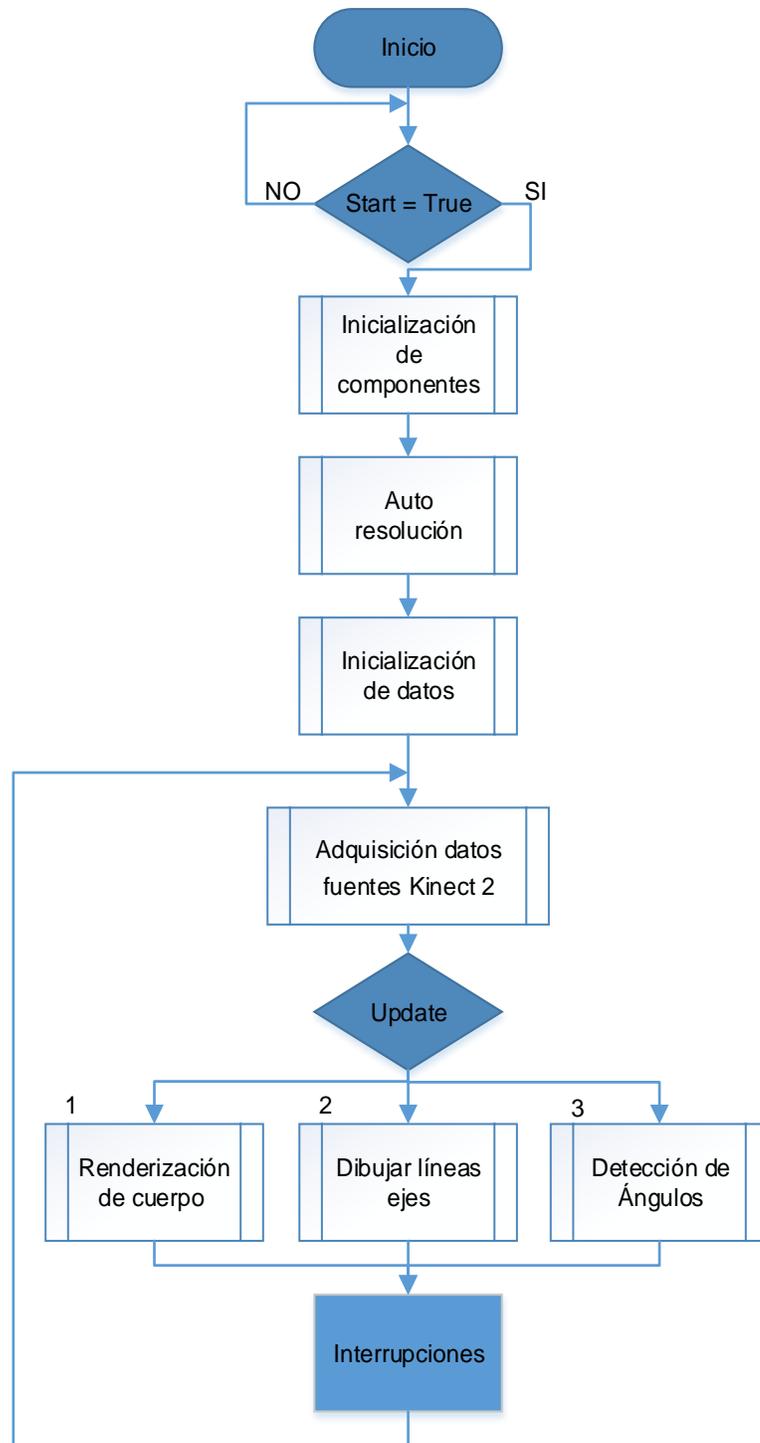


Figura 31 Diagrama de flujo Principal

Tabla 7
Subprocesos del diagrama de flujo principal

Subproceso	Descripción
Inicialización de componentes	Se carga todos los objetos para la interfaz visual del sistema.
Auto resolución	Determina la resolución de la pantalla y ajusta todos los objetos a la pantalla para una mejor visualización del sistema.
Inicialización de datos	Las variables del sistema se inicializan con datos por defecto, para así evitar errores y malos funcionamientos del sistema
Adquisición de datos fuentes del Kinect 2	Por medio del subproceso se adquiere los datos del Kinect 2, tanto los datos fuentes de la imagen a color como también los datos fuentes de la detección de cuerpo.
Renderización de cuerpo	Gracias a la adquisición de la posición de los puntos ejes del cuerpo, se renderiza las visualizaciones del cuerpo en los 3 planos a analizar.
Dibujar líneas ejes	En este subproceso se realiza los distintos ejes primarios para evaluar los ángulos en los diferentes planos.
Detección de ángulos	Se aplica los algoritmos de detección de ángulos basados en la fórmula matemática del producto escalar
Interrupciones	Las interrupciones son subrutinas que permite el mejor funcionamiento del sistema, trabajando en tiempo real y facilitando su utilización.

b. Diagrama de flujo de interrupciones

En la figura 32 se muestra el diagrama de flujo de todas las interrupciones del sistema, como también en la tabla 8 se describe las funciones que generan cada una de las interrupciones.

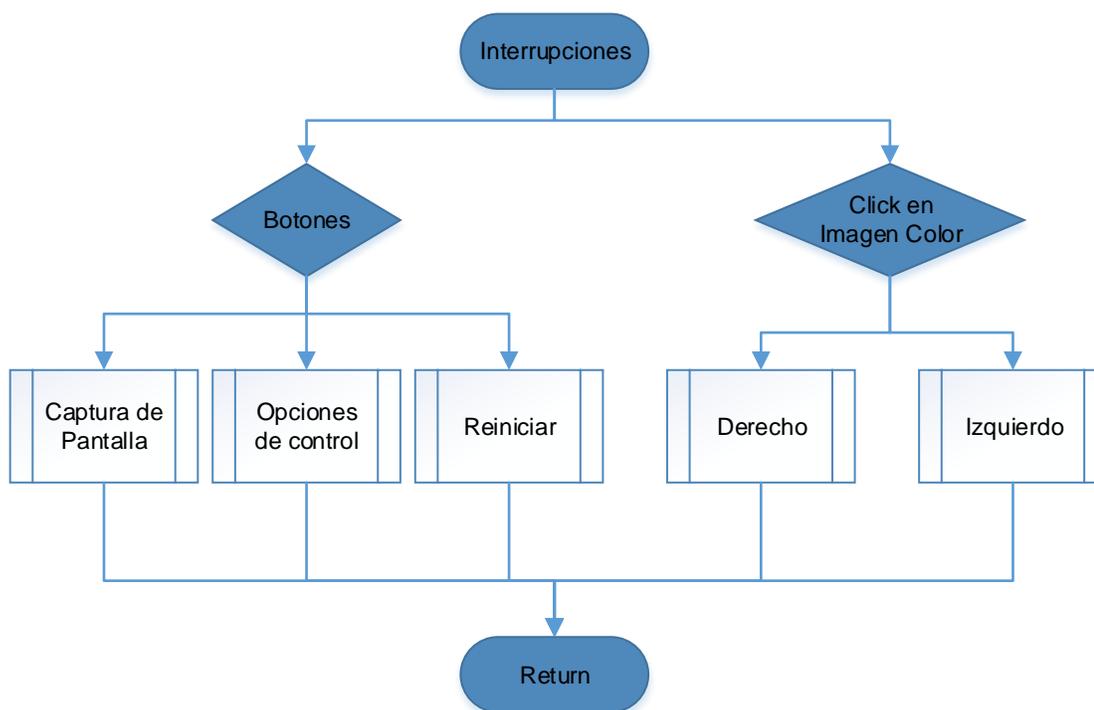


Figura 32 Diagrama de flujo de interrupciones

Tabla 8
Subprocesos del diagrama de flujo de interrupciones

Subproceso	Descripción
Captura de pantalla	<p>Permite realizar una captura de pantalla a la interfaz del sistema, guardando en una imagen de formato PNG, todos los datos evaluados en tiempo real.</p> <p>El usuario puede ingresar por teclado el nombre de la captura de la pantalla, como también seleccionar la ubicación a guardar de la imagen.</p>

CONTINÚA 

Opciones de control	<p>Tiene tres tipos de opciones:</p> <p>En el inicio del programa permite seleccionar la palabra “Start” para iniciar el programa.</p> <p>Posee una opción “Pause”, la cual sirve para pausar el sistema en tiempo real.</p> <p>También existe una opción “Continue”, que sirve para continuar la visualización del sistema en tiempo real.</p>
Reset	Permite reiniciar el sistema.
Clic Derecho en imagen a color	Selección de la extremidad a trabajar.
Clic Izquierdo en imagen a color	Selección del cuerpo a evaluar cuando en la imagen se encuentran dos o más personas.

c. Diagrama de flujo de detección de ángulos

En el diagrama de flujo desarrollado para la detección de ángulos, se basa en las fórmulas del producto punto o producto escalar.

Producto punto

El producto punto o producto escalar es un número real, resultante de la multiplicación del producto de sus módulos por el coseno del ángulo que forman. A continuación, se muestra la fórmula que se utiliza en la detección de ángulos con su respectivo análisis algebraico.

Fórmula:

$$\cos \theta = \frac{\mathbf{V} \cdot \mathbf{W}}{|\mathbf{V}||\mathbf{W}|}$$

Donde:

$$\mathbf{V} = a\mathbf{X} + b\mathbf{Y} + c\mathbf{Z}$$

$$\mathbf{W} = d\mathbf{X} + e\mathbf{Y} + f\mathbf{Z}$$

Procedimiento:

$$\mathbf{V} \cdot \mathbf{W} = \mathbf{a} * \mathbf{d} + \mathbf{b} * \mathbf{e} + \mathbf{c} * \mathbf{f}$$

$$|\mathbf{V}| = \sqrt{\mathbf{a}^2 + \mathbf{b}^2 + \mathbf{c}^2}$$

$$|\mathbf{W}| = \sqrt{\mathbf{d}^2 + \mathbf{e}^2 + \mathbf{f}^2}$$

A continuación, se muestra el diagrama utilizado en la detección de ángulos en la figura 33.



Figura 33 Diagrama de flujo de detección de ángulos

3.2.3 Preparación de los datos

En la preparación de datos se trabaja con acondicionamientos de rango, traslaciones de origen en espacios vectoriales y la identificación de los valores iniciales de las distintas variables presentes en los subprocesos del sistema, por lo que a continuación, en la tabla 9 se muestra las preparaciones de datos más importantes del sistema.

Tabla 9
Preparación de los datos

Preparación de datos	Descripción
Acondicionamientos de rango en la adquisición de datos de profundidad	En la adquisición de las posiciones de los puntos corporales que nos entrega el equipo Kinect 2.0, se realiza un acondicionamiento en los datos de la profundidad, para así marcar los límites máximos y mínimos en el plano Z, ya que automáticamente no se genera esa información con métodos que por defecto el paquete de herramientas SDK 2.0 presenta. En la figura 34 se presenta el acondicionamiento realizado para los datos de profundidad.
Traslación de origen en espacios vectoriales para la evaluación de ángulos.	Para la evaluación del ángulo en los distintos puntos ejes, se realiza la traslación del origen, esto permite generar los vectores necesarios para la evaluación del ángulo, utilizando las formulas del producto punto.
Identificación de valores iniciales de variables.	Para un buen funcionamiento del sistema de realidad virtual, se implementa la aplicación de variables globales y variables locales en todo el programa, permitiendo así tener comunicación con los distintos subprocesos.

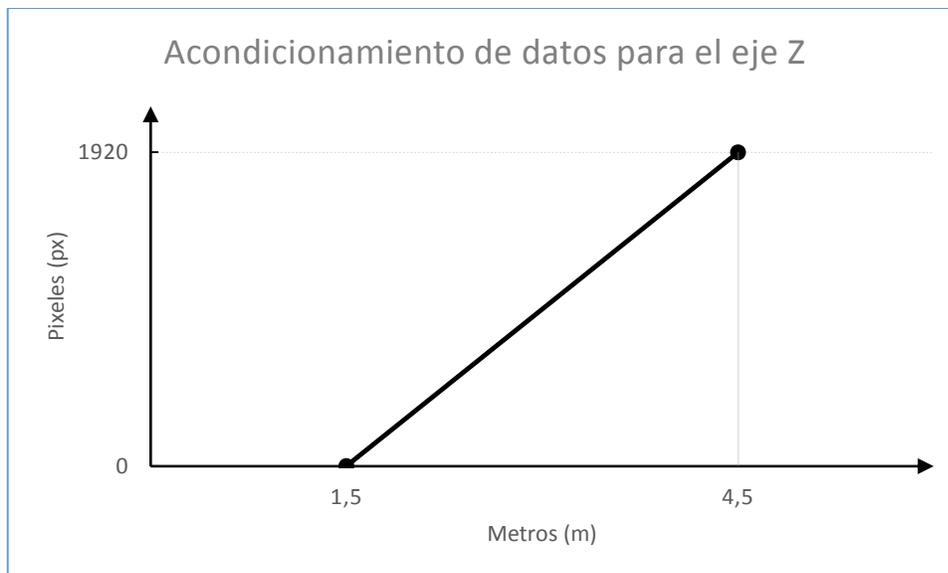


Figura 34 Acondicionamiento de datos para el eje Z

En la figura 34, se muestra el acondicionamiento de los datos de profundidad, ya que los datos fuentes que ingresan desde el Kinect 2.0 al sistema están en unidades métricas, por lo que para convertirlos en píxeles, es necesario aplicar un método del SDK 2.0, llamado “MapCameraPointToColorSpace”.

Este método permite obtener la distancia en píxeles de las posiciones de los distintos puntos corporales detectados, obteniendo así una resolución en el eje X de 1920 y una resolución en el eje Y de 1080, sin convertir los datos de profundidad a píxeles, por lo que se acondiciono la entrada de 1,5 hasta 4,5 metros, a una salida de 0 hasta 1920 píxeles, obteniendo así los datos del eje Z en píxeles con la fórmula que se presenta a continuación.

$$\text{AcondEjeZ} = ((\text{PosiciónZ} * 100) - 150) * \left(\frac{1919}{300} \right)$$

La razón de la selección del máximo del eje Z a 1920 píxeles, fue por la relación que existe con el eje X, ya que en la visualización de vista frontal y de la vista lateral izquierda, se tiene la misma resolución, permitiendo así tener una mejor visualización de estos planos. Como también en la vista superior poseer una visualización de 1920*1920 de resolución en el sistema de realidad virtual.

3.2.4 Traslación del modelo

La elaboración de la programación, se desarrolla con el lenguaje C#, ya que este lenguaje permite trabajar de manera más sencilla con los distintos métodos del SDK 2.0, como también en forma eficaz, elaborar una aplicación de Windows 8.1 con una interfaz muy amigable.

Para la elaboración estructural del programa, es necesario implementar subprocesos, los cuales permiten realizar de forma independiente cada una de las características indicadas en la definición del problema, unificando al final todos los subprocesos y así obtener un sistema denominado goniómetro virtual multipunto.

También para la realización de la interfaz de trabajo, se trabaja con lenguaje WPF, el cual crea los objetos necesarios para generar una interfaz amigable y fácil de manipular en Windows, como también ofrece al programador tener un control de las propiedades y métodos de los objetos, utilizando así en el código fuente para su respectiva aplicación visual.

Para la utilización del paquete SDK 2.0 que ofrece Microsoft para la comunicación de Kinect 2 con el ordenador y el software de programación, es necesario añadir la referencia del paquete al sistema, seleccionando la referencia WindowsPreview.Kinect con su versión 2.0. Todo esto se realiza después de la instalación del paquete que se puede descargar en la web de Microsoft totalmente gratis.

Para finalizar la traslación del modelo, es necesario el aporte de Microsoft a la hora de entregar valiosa información y ejemplos al desarrollo del sistema, ya que la mayoría de errores de sintaxis y errores de compilación, tienen su respectiva solución en blogs y cursos en su propia web, permitiendo así desarrollar con mayor facilidad la programación y realizar un sistema de calidad con todos los parámetros que sugiere Microsoft.

CAPÍTULO IV

EXPERIMENTACIÓN E IMPLEMENTACIÓN

Para este capítulo se utiliza como guía las fases de diseño de simulación de realidad virtual propuesto por (Mejía Luna, 2012, citado en Shannon 1975) visualizadas en la figura 35. Gracias a que un grupo de fases de este diseño de simulación están enfocados en la experimentación y en la implementación, se puede obtener una validación de la metodología, como también la seguridad de generar un sistema de realidad virtual de calidad.

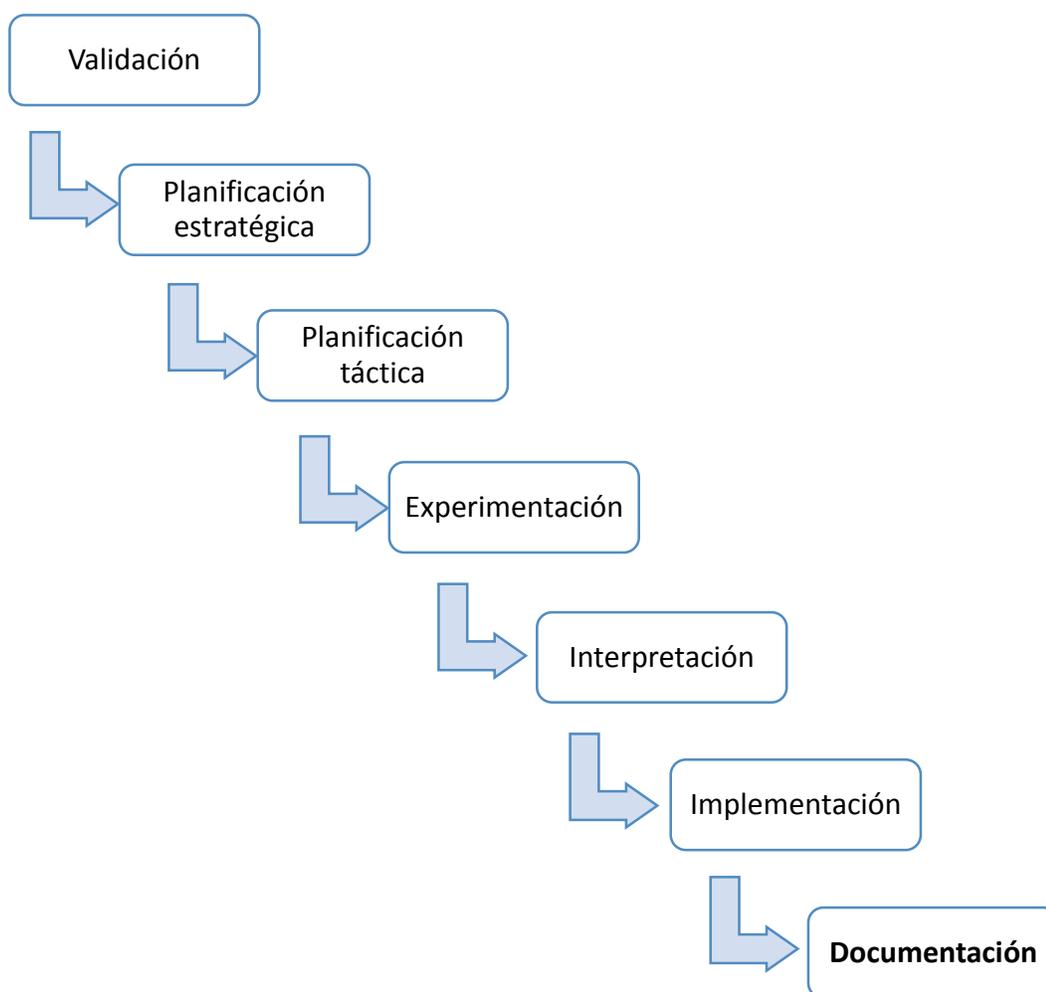


Figura 35 Fases de implementación del sistema

Fuente: (Mejía Luna, 2012)

4.1 Validación

Para la validación del sistema de goniómetro virtual multipunto, se realiza un experimento, el cual consiste en evaluar el funcionamiento del sistema de realidad virtual con posiciones evaluadas con el goniómetro físico, los cuales permiten observar los distintos comportamientos del sistema, comprobando así el funcionamiento de los modelos diseñados en el capítulo 3.

Para la validación del sistema se trabaja con tablas donde se indica el error de las muestras, esto permite evaluar la desviación estándar como también el rango de error que posee el sistema diseñado e implementado. Las imágenes, tablas, gráficos de control y el análisis de esta validación del sistema están detallados en el capítulo 5.

4.2 Planificación estratégica

En la planificación estratégica se diseñó un experimento para la obtención de la información del fenómeno que se estudia, funcionamiento de un goniómetro virtual multipunto. Para este experimento, ya se trabaja en conjunto con el mapeo, hardware y el software del sistema, como se muestra en la figura 36.



Figura 36 Planificación estratégica

4.3 Planificación táctica

Para la planificación táctica se utiliza una serie de posiciones de evaluación de ángulos en las extremidades superiores, las cuales generan la información de entrada necesaria para la evaluación del sistema de realidad virtual.

Para el experimento se realizó evaluaciones de ángulos con distintos niveles de luminosidad, comprobando si el sistema responde correctamente en lugares luminosos y lugares oscuros, como también validar por medio de un goniómetro físico los ángulos que el sistema entrega al usuario.

4.3.1 Imágenes de posiciones del experimento

A continuación, se muestra las imágenes de las posiciones a evaluar, como también los ángulos esperados en cada posición, imágenes y tablas obtenidas del experimento están en el anexo 2.

Para la primera evaluación se realiza 3 capturas, las cuales se guían en la abducción y aducción de hombro, como se ilustra en la figura 37. Las posiciones y los ángulos a evaluar se encuentran descritos en la tabla 10.

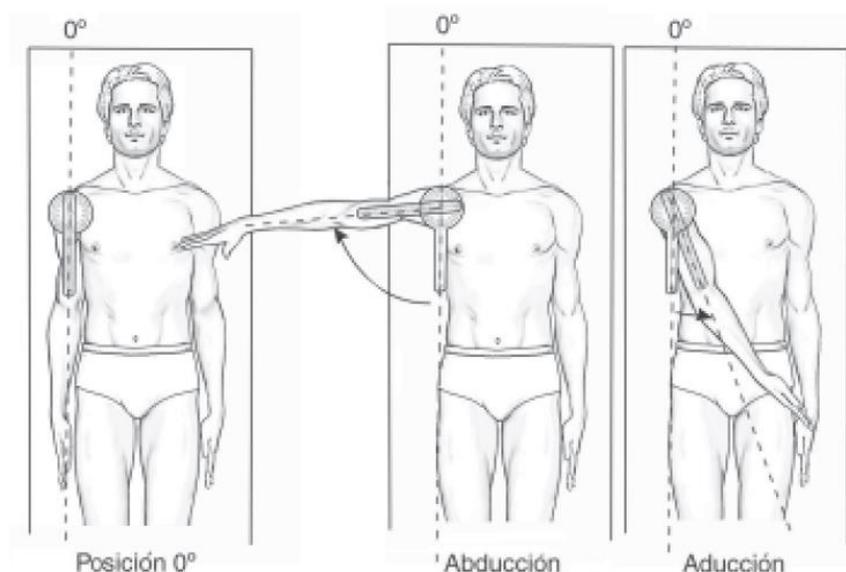


Figura 37 Abducción y Aducción de hombro

Fuente: (Taboadela, 2007)

Tabla 10
Evaluación del hombro

Posición	Ángulo esperado
1. Posición cero	0°
2. Abducción	160 a 180°
3. Aducción	0 a -30°

Para la segunda evaluación se realiza 3 capturas, las cuales se guían en la flexión y extensión del hombro, como se ilustra en la figura 38. Las posiciones y los ángulos a evaluar se encuentran descritos en la tabla 11.

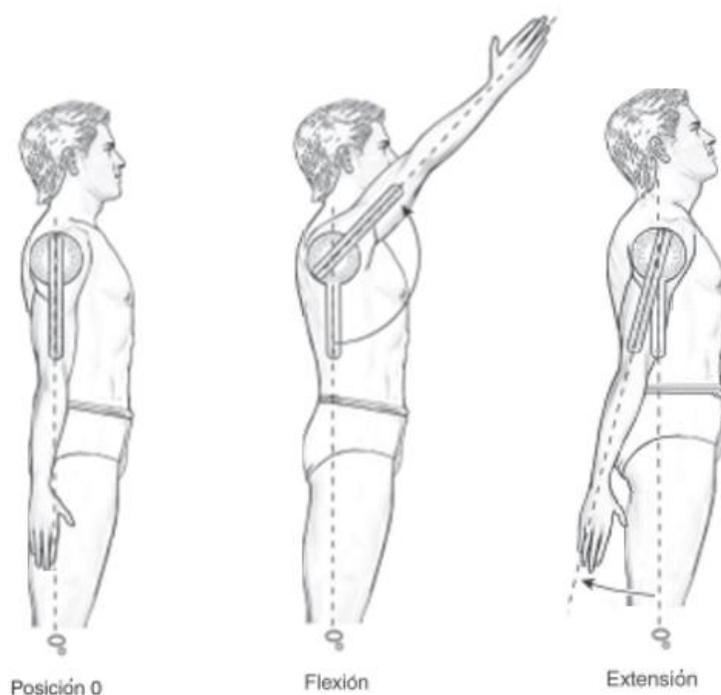


Figura 38 Extensión y Flexión del hombro

Fuente: (Taboadela, 2007)

Tabla 11
Evaluación del hombro

Posición	Ángulo esperado
1. Posición cero	0°
2. Flexión	150° a 170°
3. Extensión	0 a -40°

Para la segunda evaluación se realiza 2 capturas, las cuales se guían en la posición cero y flexión del codo, como se ilustra en la figura 39. Las posiciones y los ángulos a evaluar se encuentran descritos en la tabla 12.

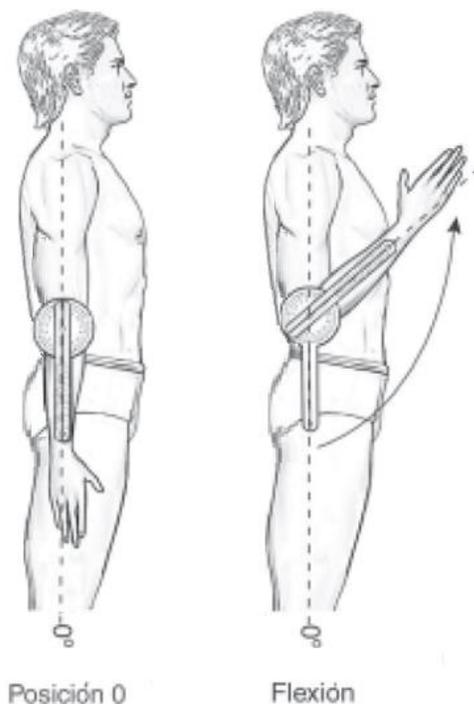


Figura 39 Extensión y Flexión del codo

Fuente: (Taboadela, 2007)

Tabla 12
Evaluación del codo

Posición	Ángulo esperado
1. Posición cero	0°
2. Flexión	130 a 150°

4.4 Experimentación

Para la realización de la experimentación se toma en cuenta los siguientes pasos, los cuales permiten un correcto funcionamiento del sistema de realidad virtual denominado goniómetro virtual multipunto, que se describen a continuación:

4.4.1 Pasos previos al funcionamiento del sistema de realidad virtual

1. Es necesario que el usuario a ser evaluado por el goniómetro virtual multipunto no use ropa holgada o chompa, ya que obstruye la visualización correcta de las extremidades superiores generando errores de detección esquelética como muestra en las figuras 40 y 41.

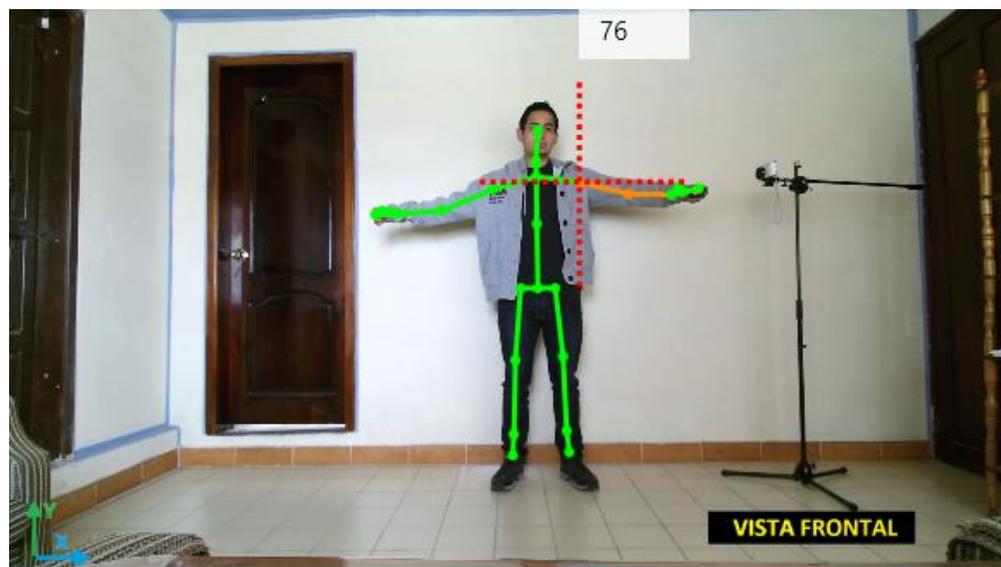


Figura 40 Uso de vestimenta holgada

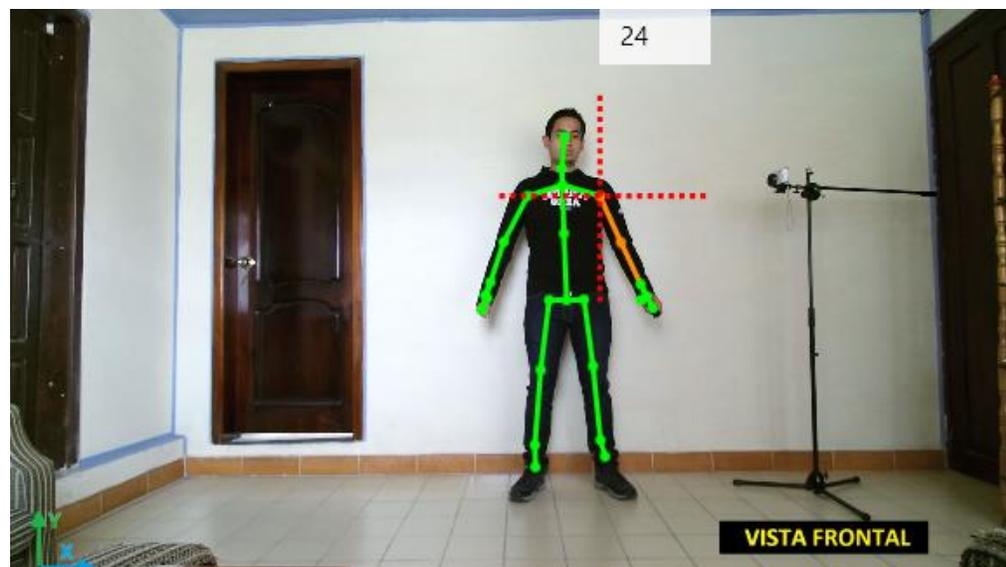


Figura 41 Uso de vestimenta correcta

2. El usuario a evaluar se debe encontrar a una distancia entre 2.5 a 3.5 metros del Kinect 2.0 y en el centro de la línea celeste como se muestra en la figura 41, esto permite evaluar con normalidad las extremidades superiores.

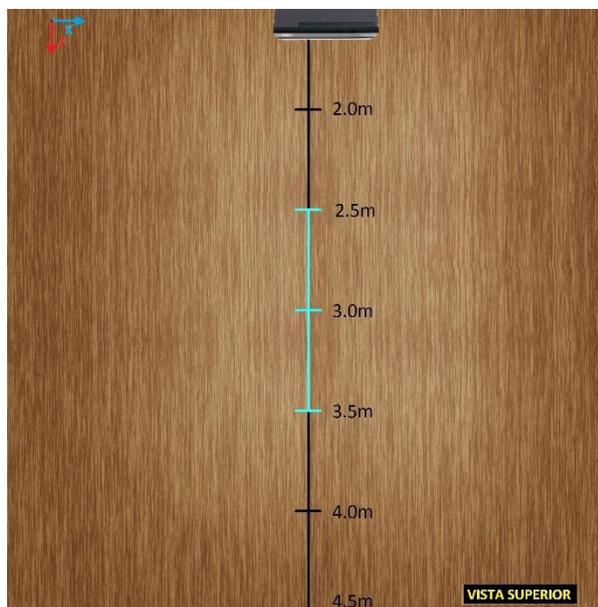


Figura 42 Distancia ideal de funcionamiento

La ubicación del usuario en estos rangos de distancia permite el movimiento correcto y cómodo de las distintas posiciones, obteniendo así resultados sin pérdida de información como muestra en la siguiente figura 43.



Figura 43 Ubicación correcta del usuario

4.4.2 Pasos en el funcionamiento del sistema

1. Ingresar al sistema y dar clic el botón “Iniciar” para encender el sistema de realidad virtual como se muestra en la figura 44.



Figura 44 Inicio del sistema

2. En caso de que el sistema no se sincroniza con el Kinect 2.0, se da clic en “Reiniciar”, el cual permite restablecer el sistema en caso de errores hasta que se active el video en tiempo real como se muestra en las imágenes 45 y 46.



Figura 45 Error de sincronización entre PC - Kinect 2.0



Figura 46 Sincronización correcta entre PC - Kinect 2.0

3. Revisar que el sistema seleccione correctamente a la persona a evaluar, caso contrario por medio de clics izquierdos en la imagen a color, se puede seleccionar a la persona que se desee evaluar, como se muestra en las figuras 47 y 48.



Figura 47 Error en la selección del usuario



Figura 48 Selección correcta de usuario a evaluar

4. Para seleccionar la extremidad superior a evaluar, se necesita dar clics derechos en la imagen a color hasta elegir la extremidad deseada, como se visualiza en la figura 49 y 50 se desea seleccionar la extremidad superior derecha.

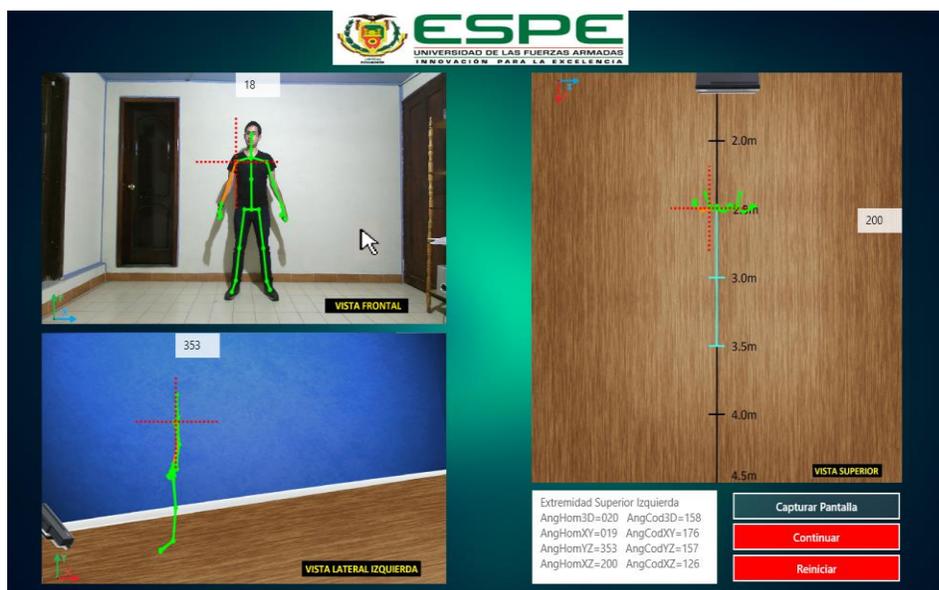


Figura 49 Error en selección de la extremidad superior derecha



Figura 50 Selección correcta de la extremidad superior derecha

5. En el caso de pausar el sistema existe un botón “Pausar”, el cual permite pausar la evaluación en ese instante. Para poner en funcionamiento de nuevo al sistema de realidad virtual en tiempo real, de click en “Continuar”. En la figura 51 y 52 se muestra el funcionamiento y la ubicación de los botones anteriormente mencionados.



Figura 51 Selección del botón Pausar



Figura 52 Selección del botón Continuar

6. Para guardar una imagen de la evaluación en tiempo real, de clic en “Capturar Pantalla” e ingrese el nombre de la captura como se muestran en las figuras 53 y 54. Las imágenes por defecto se guardan en la carpeta “Imágenes” del sistema operativo.



Figura 53 Selección del botón de captura de pantalla

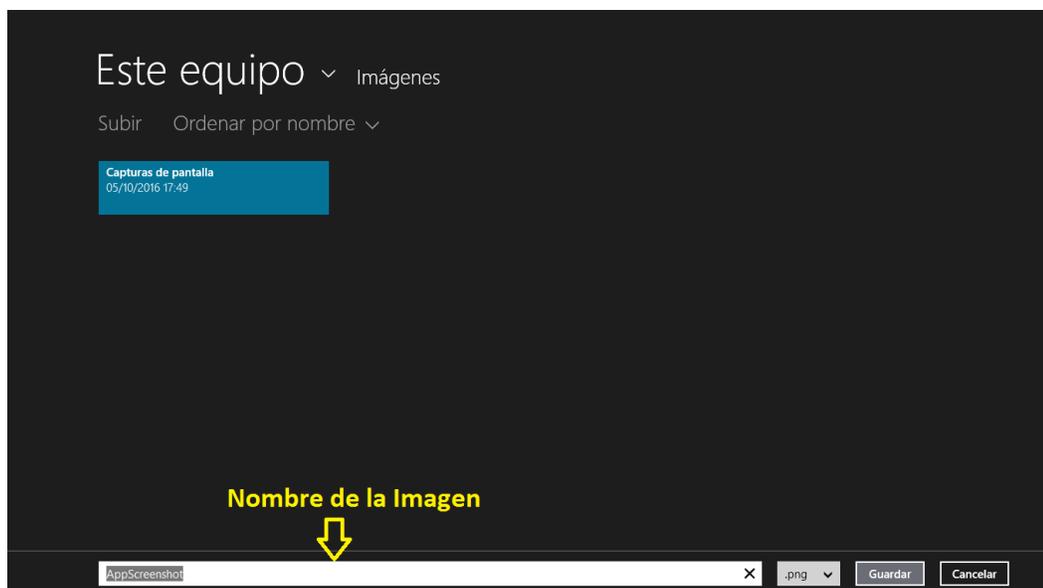


Figura 54 Ingreso del nombre de la captura de pantalla

4.5 Interpretación

Para la interpretación de los distintos resultados de la evaluación se añadió tres cuadros de textos dinámicos y un cuadro de texto estático, los cuales permiten visualizar los diversos ángulos en tiempo real como se muestra en la figura 55.



Figura 55 Interpretación de los ángulos

4.5.1 Cuadros de textos dinámicos

Los cuadros de textos dinámicos permiten visualizar la información de los ángulos evaluados del hombro en cada vista, esto permite tener una visión del ángulo sin la necesidad de recurrir al cuadro de texto estático.

Estos cuadros evalúan el hombro de 0 a 360 grados desde la referencia de cada una de las vistas, estos cuadros se mueven con la posición del hombro a evaluar generando una facilidad a la hora de visualizar un ángulo determinado.

4.5.2 Cuadro de texto estático

Para una interpretación completa de los ángulos se genera un cuadro de texto estático, el cual es de gran ayuda para evaluar la veracidad de ángulos, ya que este contiene todos los ángulos evaluados en tiempo real.

La estructura de este cuadro es muy completa y está constituida por: la visualización de la extremidad superior que se está evaluando, los ángulos evaluados del hombro con todos los planos y los ángulos evaluados del codo con todos los planos; a continuación, se describe cada uno de los elementos en la tabla 13, como también se visualiza la estructura del cuadro estático por medio de la figura 56.

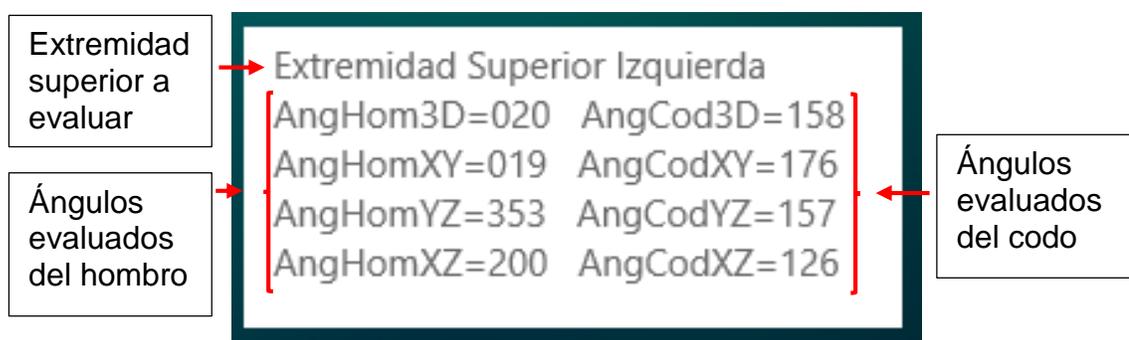


Figura 56 Elementos del Cuadro de texto estático

Tabla 13
Descripción de los elementos del cuadro de texto estático.

Elemento	Siglas	Descripción
Extremidad superior a evaluar	Extremidad superior izquierda	Selección de la extremidad superior izquierda.
	Extremidad superior Derecha	Selección de la extremidad superior derecha.
Ángulos evaluados del hombro	AngHom3D	Ángulo de hombro en 3D. Muestra el ángulo del hombro evaluado en las tres dimensiones.
	AngHomXY	Ángulo de hombro en el eje XY. Muestra el ángulo del hombro evaluado en el plano coronal.
	AngHomYZ	Ángulo de hombro en el eje YZ. Muestra el ángulo del hombro evaluado en el plano sagital.
	AngHomXZ	Ángulo de hombro en el eje XZ. Muestra el ángulo del hombro evaluado en el plano transversal.
Ángulos evaluados del codo	AngCod3D	Ángulo de codo en 3D. Muestra el ángulo del codo evaluado en las tres dimensiones.
	AngCodXY	Ángulo de codo en el eje XY. Muestra el ángulo del codo evaluado en el plano coronal.
	AngCodYZ	Ángulo de codo en el eje YZ. Muestra el ángulo del codo evaluado en el plano sagital.
	AngCodXZ	Ángulo de codo en el eje XZ. Muestra el ángulo del codo evaluado en el plano transversal.

4.6 Implementación

Para la implementación se ocupa las posiciones corporales determinadas en la planificación táctica, como también los pasos detallados de la experimentación, esto permite tener una idea clara del posible funcionamiento del sistema. En la implementación se evalúa las extremidades superiores con las distintas posiciones, con el objetivo de evaluar si la detección de ángulos está en los rangos permitidos de las tablas establecidas en la planificación táctica.

4.6.1 Evaluación del área de detección corporal del sistema

Para la evaluación del área de detección corporal del sistema, se realiza pruebas donde se visualiza el área óptima de evaluación corporal.

a. Posición sugerida del sistema

En la figura 57 se puede observar una correcta detección esquelética del sistema, gracias a que se encuentra a una distancia entre 2.5 a 3.5 metros del Kinect y el sector medio de visualización en el eje XZ. Caso contrario ocurre lo que indica la figura 58, donde ya no detecta la correcta posición de los pies, generando pérdida de información.



Figura 57 Ubicación correcta del usuario a evaluar

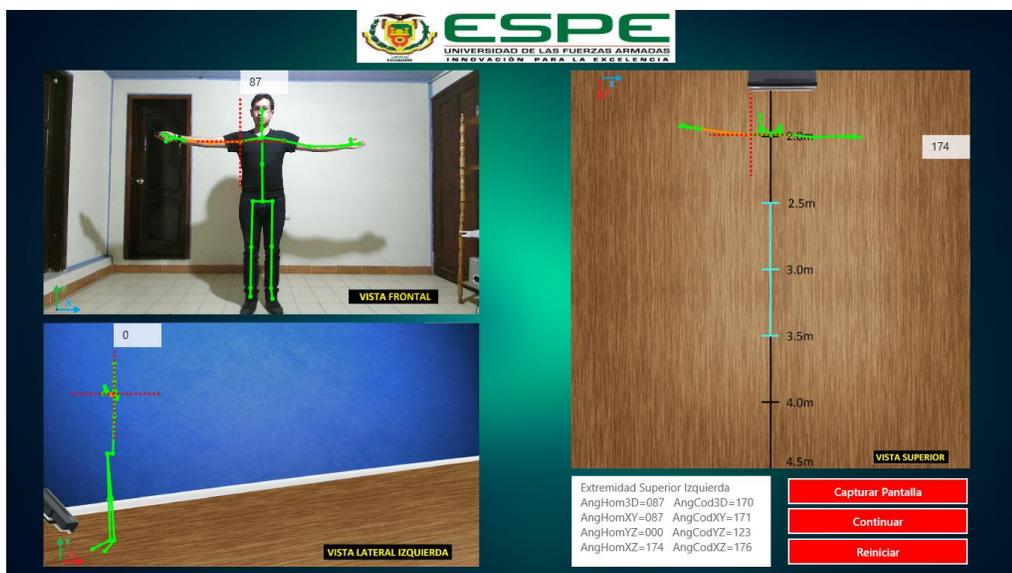


Figura 58 Ubicación incorrecta del usuario a evaluar

b. Detección de las extremidades superiores

Para esta prueba se realiza una evaluación esquelética de la extremidad superior izquierda del usuario, ubicado en el área sugerida del sistema a 2.5 metros, la detección del brazo izquierdo es correcta como se visualiza en la figura 59. Por otro lado, en la figura 60 se observa que la detección del brazo izquierdo es fallida, genera pérdida de datos o datos basura, todo esto es generado por la mala ubicación del usuario.



Figura 59 Detección correcta de la extremidad superior izquierda



Figura 60 Detección incorrecta de la extremidad superior izquierda

También se realizó una evaluación esquelética de la extremidad superior derecha del usuario, ubicado en el área sugerida del sistema a 2.5 metros, la detección del brazo derecho es correcta como se visualiza en la figura 61. Por otro lado, en la figura 62 se observa que la detección del brazo derecho es fallida, todo esto es generado por la mala ubicación del usuario.



Figura 61 Detección correcta de la extremidad superior derecha



Figura 62 Detección incorrecta de la extremidad superior derecha

c. Detección de las extremidades superiores haciendo flexión

En esta prueba se evalúa la ubicación ideal para realizar una flexión completa de las extremidades superior sin que ocasione pérdida de datos, en la figura 63 se visualiza una correcta detección de las extremidades superiores sin pérdida de información, mientras en la figura 64 se observa una pérdida de información en la detección de manos y muñecas en la vista lateral izquierda.



Figura 63 Detección correcta de las extremidades superiores



Figura 64 Detección incorrecta de las extremidades superiores

Para esta prueba se realiza con las extremidades superiores una flexión de 90 grados, evaluando la distancia correcta para evaluar la detección correcta de los brazos. En la figura 65 se visualiza una correcta evaluación de las extremidades superiores sin pérdida de datos, caso contrario ocurre con la figura 66 que se pierde la información de manos y muñecas en la vista superior.



Figura 65 Detección correcta en vista superior



Figura 66 Detección incorrecta en vista superior

d. Detección de las extremidades superiores haciendo extensión

Para esta última prueba se realiza extensión de extremidades superiores, donde se visualiza claramente la detección de los brazos, cabe resaltar que mientras el Kinect de segunda generación pueda visualizar directamente a los brazos puede detectarlos sin ninguna dificultad como se muestra en la figura 67.

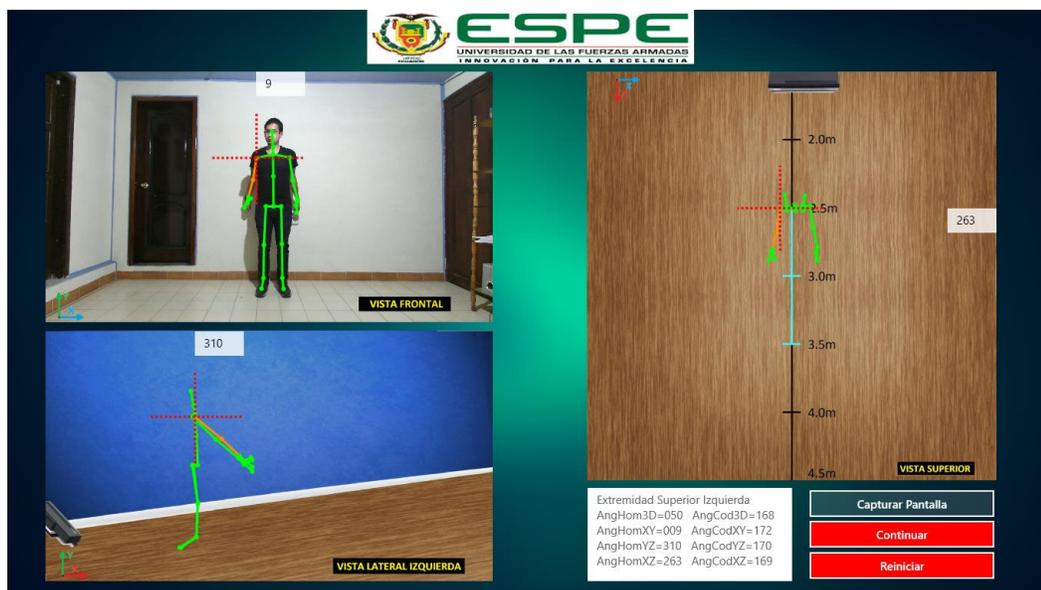


Figura 67 Detección correcta en posición de extensión de brazos

4.6.2 Resultados de la implementación

Los resultados obtenidos de la implementación del sistema denominado goniómetro virtual multipunto de extremidades superiores, permite evaluar el funcionamiento del sistema en su totalidad, como también determinar si los ángulos evaluados con posiciones predeterminadas se encuentran en los rangos establecidos por la Asociación para el Estudio de Osteosíntesis (AO) de Suiza.

a. Abducción y aducción del hombro izquierdo

Para evaluar la abducción y aducción del hombro izquierdo es necesario enfocarnos en los resultados del ángulo del hombro en el eje XY, ya que el arco del movimiento se encuentra en el plano coronal como se visualiza en las figuras 68, 69 y 70; obteniendo como resultados la tabla 14.

Tabla 14
Evaluación del hombro

Posición	Ángulo esperado	Ángulo obtenido
1. Posición cero	0°	6°
2. Abducción	160 a 180°	173°
3. Aducción	0 a -30°	326° ≡ - 34°



Figura 68 Posición cero del hombro izquierdo

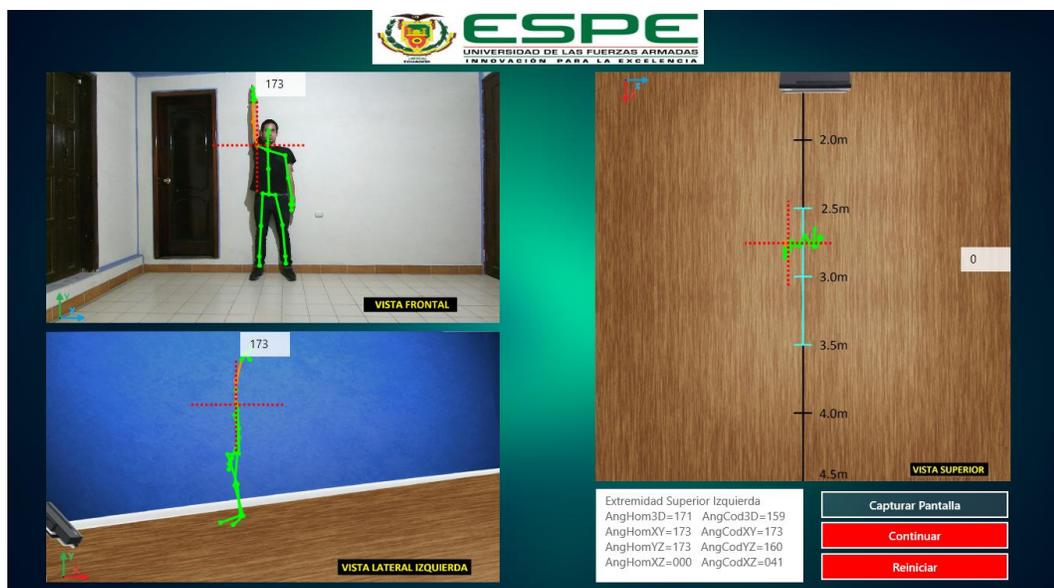


Figura 69 Abducción del hombro izquierdo



Figura 70 Aducción del hombro izquierdo

b. Abducción y aducción del hombro derecho

Del mismo modo para evaluar la abducción y aducción del hombro derecho es necesario enfocarnos en los resultados del ángulo del hombro en el eje XY, ya que el arco del movimiento se encuentra en el plano coronal como se visualiza en las figuras 71, 72 y 73; obteniendo como resultados la tabla 15.

Tabla 15
Evaluación del hombro

Posición	Ángulo esperado	Ángulo obtenido
1. Posición cero	0°	8°
2. Abducción	160 a 180°	164°
3. Aducción	0 a -30°	330° ≡ -30°



Figura 71 Posición cero del hombro derecho



Figura 72 Abducción del hombro derecho

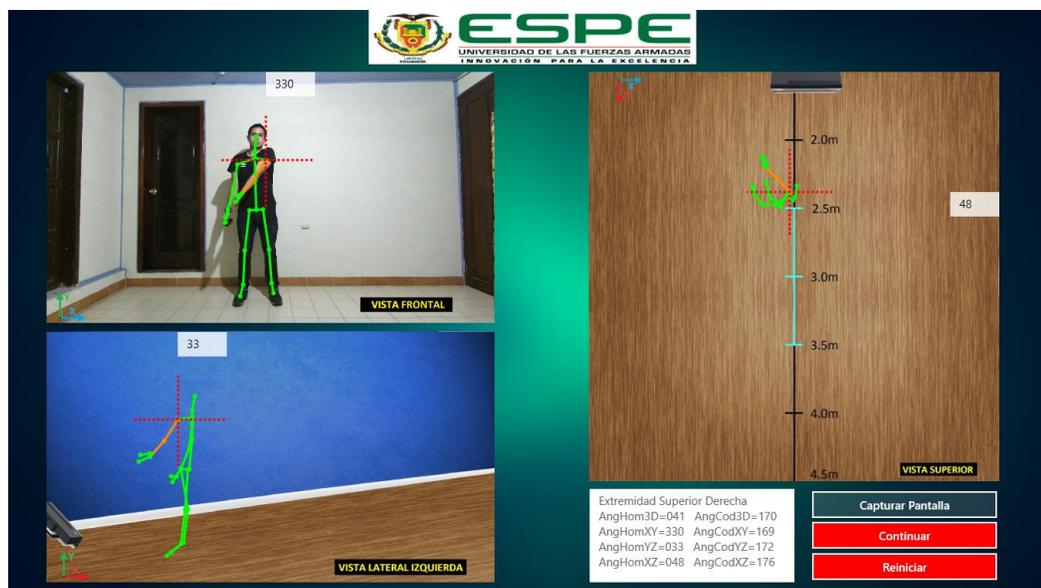


Figura 73 Aducción del hombro derecho

c. Extensión y Flexión del hombro izquierdo

Para evaluar la extensión y flexión del hombro izquierdo es necesario enfocarnos en los resultados del ángulo del hombro en el eje YZ, ya que el arco del movimiento se encuentra en el plano sagital como se visualiza en las figuras 74, 75 y 76; obteniendo como resultados la tabla 16.

Cabe resaltar que, para obtener el ángulo negativo en la extensión del hombro, se debe aplicar a 360° una resta con el ángulo obtenido en el eje YZ, ya que este ángulo tiene un rango en el sistema de 0 a 360° .

Tabla 16
Evaluación del hombro

Posición	Ángulo esperado	Ángulo obtenido
1. Posición cero	0°	0°
2. Flexión	150° a 170°	169°
3. Extensión	0 a -40°	$321^\circ \equiv -39^\circ$



Figura 74 Posición cero del hombro izquierdo

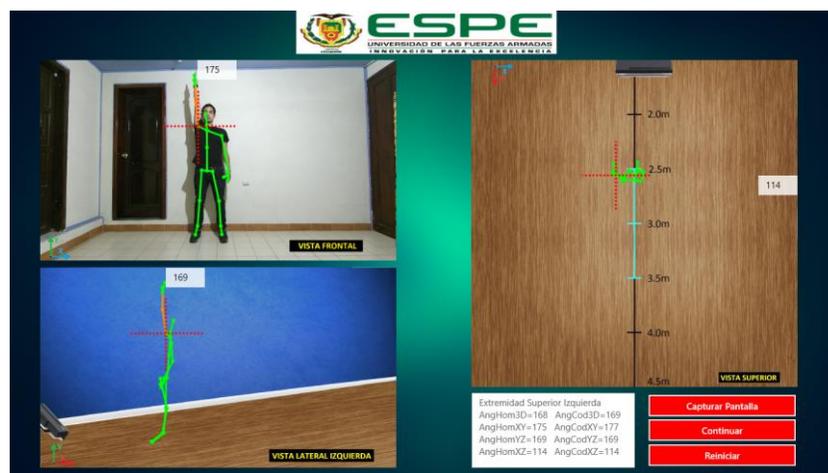


Figura 75 Flexión del hombro izquierdo

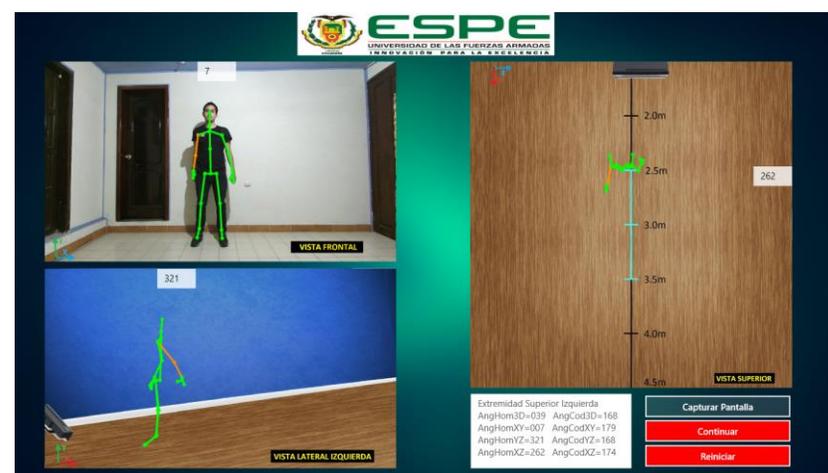


Figura 76 Extensión del hombro izquierdo

d. Extensión y Flexión del hombro derecho

De igual forma para evaluar la extensión y flexión del hombro derecho es necesario enfocarnos en los resultados del ángulo del hombro en el eje YZ, ya que el arco del movimiento se encuentra en el plano sagital como se visualiza en las figuras 77, 78 y 79; los resultados se presentan en la tabla 17.

Cabe resaltar que para obtener el ángulo negativo en la extensión del hombro, se debe aplicar a 360° una resta con el ángulo obtenido en el eje YZ, ya que este ángulo tiene un rango en el sistema de 0 a 360° .

Tabla 17
Evaluación del hombro

Posición	Ángulo esperado	Ángulo obtenido
1. Posición cero	0°	0°
2. Flexión	150° a 170°	156°
3. Extensión	0 a -40°	$328^\circ \equiv -32^\circ$



Figura 77 Posición cero del hombro derecho



Figura 78 Flexión del hombro derecho



Figura 79 Extensión del hombro izquierdo

e. Extensión del codo izquierdo

Para evaluar la flexión del codo izquierdo es necesario enfocarnos en los resultados del ángulo del codo en 3 dimensiones, ya que la posición del brazo y antebrazo no generan un arco de movimiento en un plano corporal específico, como se visualiza en las figuras 80 y 81; obteniendo como resultados la tabla 18.

Tabla 18
Evaluación del codo

Posición	Ángulo esperado	Ángulo obtenido
1. Posición cero	0°	164 ° ≅ 16 °
2. Flexión	130 a 150°	35 ° ≅ 145 °

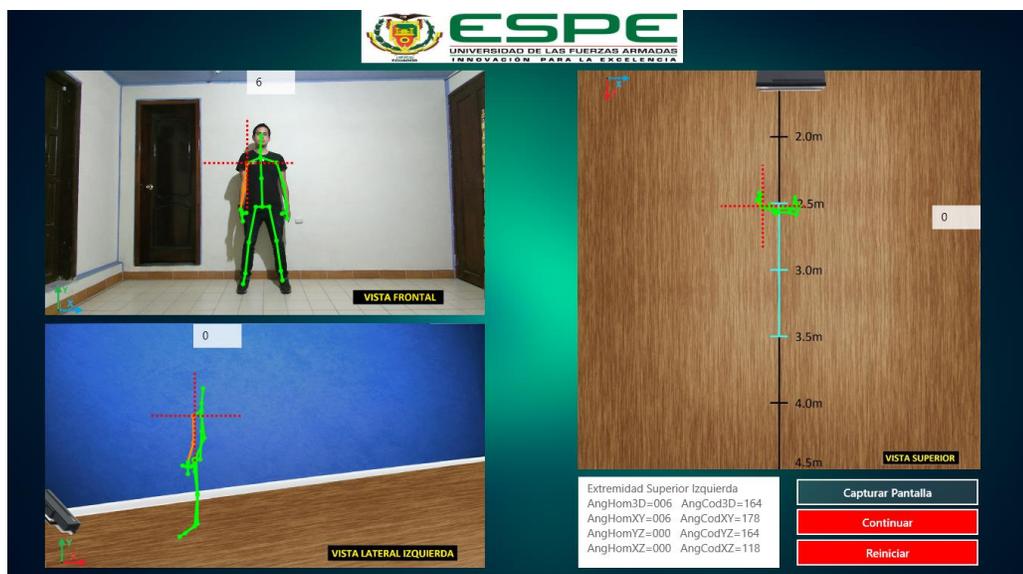


Figura 80 Posición cero del codo izquierdo

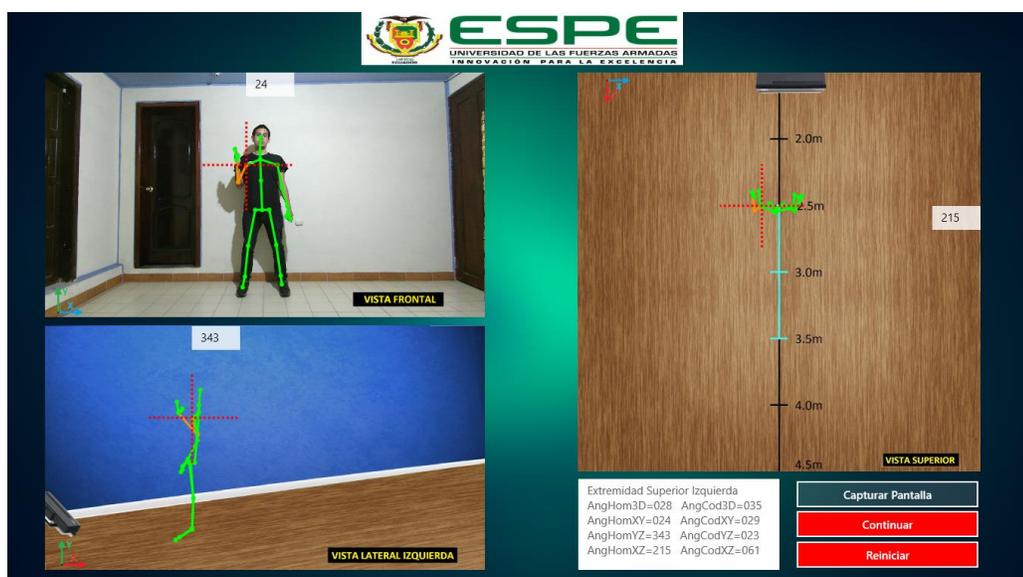


Figura 81 Flexión del codo izquierdo

f. Extensión y Flexión del codo derecho

De igual manera para evaluar la flexión del codo derecho es necesario enfocarnos en los resultados del ángulo del codo en 3 dimensiones, como se visualiza en las figuras 82 y 83; obteniendo como resultados la tabla 19.

Tabla 19
Evaluación del codo

Posición	Ángulo esperado	Ángulo obtenido
1. Posición cero	0°	174° \equiv 6°
2. Flexión	130 a 150°	38° \equiv 142°



Figura 82 Posición cero del codo derecho



Figura 83 Flexión del codo derecho

4.7 Documentación

Para facilitar el uso del sistema y dar conocimiento del mismo al usuario del sistema de realidad virtual denominado “Goniómetro Virtual Multipunto” de extremidades superiores, se ha desarrollado un manual de usuario, el cual está presente en anexo 3.

El objetivo del manual es darle al usuario una herramienta de evaluación del ángulo de movilidad de hombro y codo en la comodidad de la casa, sin la necesidad de un especialista en fisioterapia. Esto permite al usuario tener un grado de libertad en observar el estado de sus articulaciones de la extremidad superior como también la evolución de rehabilitación en caso de problemas en extremidades superiores.

4.7.1 Índice del manual de usuario

Para la elaboración de la documentación se toma en cuenta el siguiente índice, el cual esta detallado a continuación.

- Introducción
- Requisitos
- Conexiones del sistema
- Funcionamiento del sistema
- Interfaz del sistema
- Opciones del sistema
- Especificaciones de las distintas referencias
- Recomendación

El índice del manual es muy pequeño, ya que permite al lector tener una idea general del funcionamiento del sistema de realidad virtual denominado Goniómetro Virtual Multipunto de extremidades superiores, como también de todas las opciones de trabajo.

CAPÍTULO V

RESULTADOS

5.1 Validación del Goniómetro Virtual Multipunto

Para la validación del sistema de realidad virtual denominado “Goniómetro Virtual Multipunto de extremidades superiores”, se desarrolló un experimento el cual una persona es evaluada los distintos ángulos de movilidad del codo por medio de la utilización del goniómetro físico en los distintos planos corporales, esto permite determinar el porcentaje de error entre un goniómetro físico y el sistema de realidad virtual implementado.

El experimento de validación está compuesto por 4 fases, las que son:

- Toma de muestras en función del eje XY.
- Toma de muestras en función del eje YZ.
- Toma de muestras en función del eje XZ.
- Toma de muestras en 3 dimensiones.

Cabe resaltar que para la experimentación se evalúa a la persona con el goniómetro físico ubicado correctamente, esto es para validar todas las posiciones sin tener la facilidad de modificar de alguna forma el goniómetro físico, todo este experimento se realizó gracias a la ayuda y revisión de una licenciada en fisioterapia.

Para tener constancia de todo el experimento de validación, se realizó 2 capturas con cámara independiente del valor del goniómetro físico, un ejemplo de las capturas se visualiza en la figura 84, y una captura del sistema denominado Goniómetro Virtual Multipunto de extremidades superiores en tiempo real como se visualiza en la figura 85; todas las imágenes adquiridas en el experimento se encuentran ubicadas en el anexo 2.



Figura 84 Captura Goniómetro físico



Figura 85 Captura del sistema de Goniómetro virtual multipunto

5.1.1 Toma de muestras en función del eje XY

Para la obtención de las muestras de esta fase, es necesario que una persona realice cuatro posiciones aleatorias del ángulo que se genera entre el antebrazo y el brazo: la primera posición que se aproxime a 180° , la segunda posición se encuentre en un rango entre 90° a 180° , la tercera posición se aproxime a un ángulo de 90° y para finalizar la última posición se encuentre en un rango entre 0° a 90° , todas las posiciones deben formarse en el plano coronal. En la Tabla 20 se muestra los datos resultantes de experimento en el eje XY, como también una gráfica de los resultados en la figura 86.

Tabla 20
Muestras obtenidas del eje XY

Número de muestra	Goniómetro físico	Goniómetro Virtual multipunto	Error	Varianza	Desviación estándar
1	169	172	-3	14,92	3,86
2	114	125	-11		
3	90	93	-3		
4	68	72	-4		
Promedio:			-5,25		

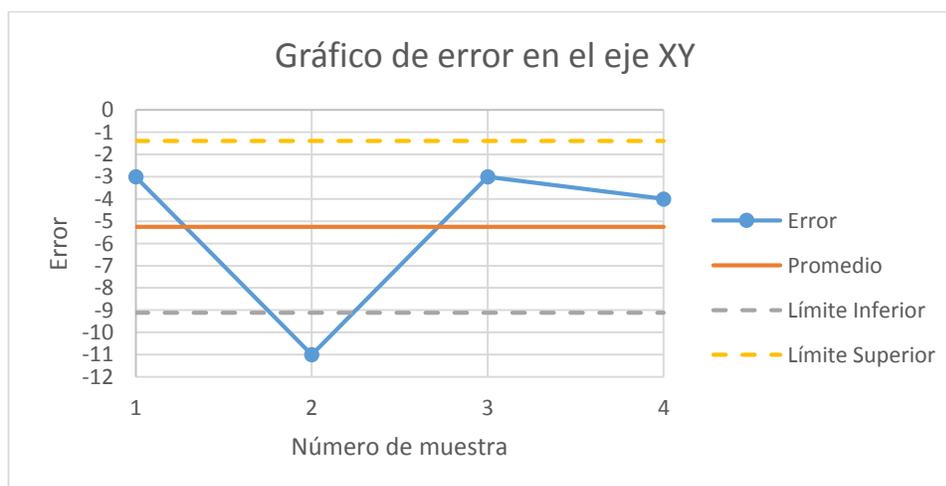


Figura 86 Gráfico de error en el eje XY

5.1.2 Toma de muestras en función del eje YZ

Para la obtención de las muestras de esta fase, es necesario que una persona realice cuatro posiciones aleatorias del ángulo que se genera entre el antebrazo y el brazo: la primera posición que se aproxime a 180° , la segunda posición se encuentre en un rango entre 90° a 180° , la tercera posición se aproxime a un ángulo de 90° y para finalizar la última posición se encuentre en un rango entre 0° a 90° , todas las posiciones deben formarse en el plano sagital. En la tabla 21 se muestra los datos resultantes de experimento en el eje YZ, como también una gráfica de los resultados en la figura 87.

Tabla 21
Muestras obtenidas del eje YZ

Número de muestra	Goniómetro físico	Goniómetro Virtual multipunto	Error	Varianza	Desviación estándar
1	178	170	8	1,66	1,29
2	133	127	6		
3	86	79	7		
4	71	62	9		
Promedio:			7,5		

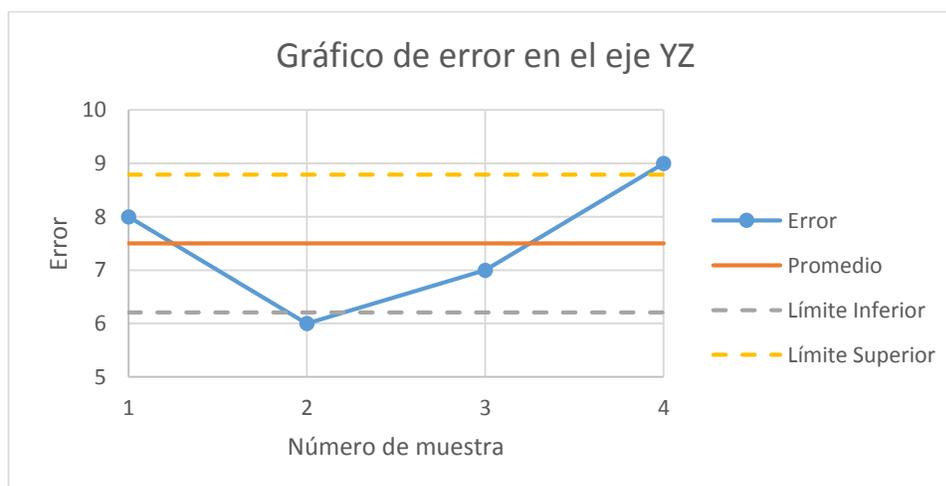


Figura 87 Gráfico de error en el eje YZ

5.1.3 Toma de muestras en función del eje XZ

Para la obtención de las muestras de esta fase, es necesario que una persona realice cuatro posiciones aleatorias del ángulo que se genera entre el antebrazo y el brazo: la primera posición que se aproxime a 180° , la segunda posición se encuentre en un rango entre 90° a 180° , la tercera posición se aproxime a un ángulo de 90° y para finalizar la última posición se encuentre en un rango entre 0° a 90° , todas las posiciones deben formarse en el plano transversal. En la tabla 22 se muestra los datos resultantes de experimento en el eje XZ, como también una gráfica de los resultados en la figura 88.

Tabla 22
Muestras obtenidas del eje XZ

Número de muestra	Goniómetro físico	Goniómetro Virtual multipunto	Error	Varianza	Desviación estándar
1	176	178	-2	6,91	2,62
2	152	149	3		
3	86	87	-1		
4	64	67	-3		
Suma:			-0,75		

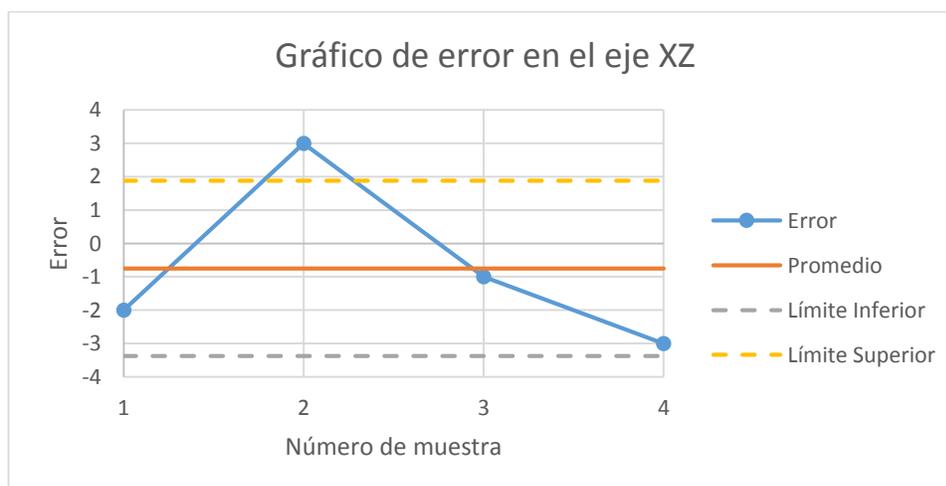


Figura 88 Gráfico de error en el eje XZ

5.1.4 Toma de muestras en 3 dimensiones

Para la obtención de las muestras de esta última fase, es necesario que una persona realice cuatro posiciones aleatorias del ángulo que se genera entre el antebrazo y el brazo: la primera posición que se aproxime a 180° , la segunda posición se encuentre en un rango entre 90° a 180° , la tercera posición se aproxime a un ángulo de 90° y para finalizar la última posición se encuentre en un rango entre 0° a 90° , todas las posiciones deben formarse cruzando los tres planos corporales. En la tabla 23 se muestra los datos resultantes de experimento en 3 dimensiones, como también una gráfica de los resultados en la figura 89.

Tabla 23
Muestras obtenidas en 3 dimensiones

Número de muestra	Goniómetro físico	Goniómetro Virtual multipunto	Error	Varianza	Desviación estándar
1	107	102	5	4,92	2,22
2	117	113	4		
3	92	83	9		
4	84	79	5		
Promedio:			5,75		

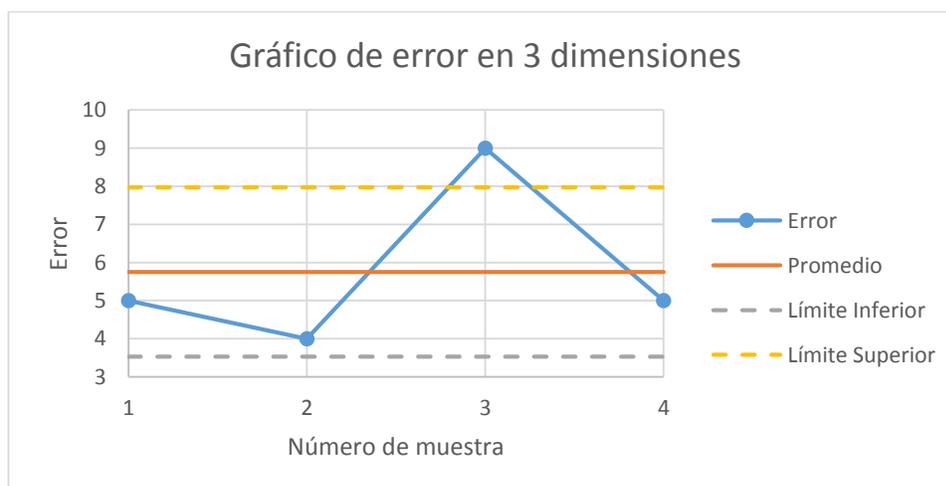


Figura 89 Gráfico de error en 3 dimensiones

5.1.5 Recopilación de muestras

Para finalizar la validación de goniómetro virtual multipunto de extremidades superiores, se presentan a continuación en la tabla 24 una recopilación de todas las muestras obtenidas en el experimento de validación del sistema, como también la gráfica final del experimento como se visualiza en la figura 90.

Tabla 24
Recopilación de muestras obtenidas en el experimento

Número de muestra	Goniómetro físico	Goniómetro Virtual multipunto	Error	Varianza	Desviación Estándar
1	114	125	-11	33,50	5,79
2	68	72	-4		
3	64	67	-3		
4	169	172	-3		
5	90	93	-3		
6	176	178	-2		
7	86	87	-1		
8	152	149	3		
9	117	113	4		
10	107	102	5		
11	84	79	5		
12	133	127	6		
13	86	79	7		
14	178	170	8		
15	71	62	9		
16	92	83	9		
Promedio:			1,81		

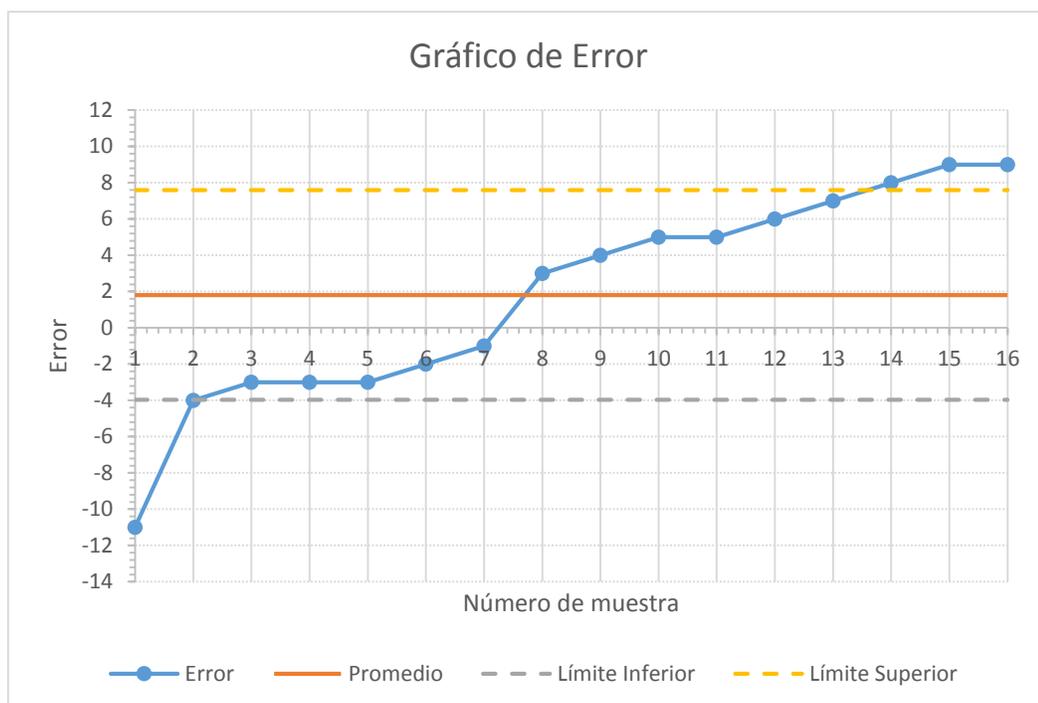


Figura 90 Gráfico de error en el experimento

5.2 Análisis de resultados

Para validar los datos se realizaron un total de 16 muestras, las cuales se clasificaron cada cuatro muestras por cada plano corporal y el último grupo de muestra por el análisis en 3 dimensiones. Todas las muestras tienen distintos valores de errores tanto positivos como negativos, por lo que se analizó las desviaciones estándar tanto por grupo como en una recopilación de todas las muestras.

En la figura 86 se puede visualizar las cuatro muestras obtenidas en el eje XY, donde se tiene una media de -5.25 y una desviación estándar de 3.86, por lo que se puede concluir que se tiene un error negativo de -9.11 en el eje XY con respecto a la utilización del goniómetro físico en la evaluación del arco de movimiento de codo.

En la figura 87 se puede visualizar las cuatro muestras obtenidas en el eje YZ, donde se tiene una media de 7.5 y una desviación estándar de 1.29, se determinó un error máximo positivo de 8.79 en el eje YZ con respecto a la utilización del goniómetro físico en la evaluación del arco de movimiento de codo, cabe resaltar que en este eje se tiene la desviación entre muestras más pequeña de todos los grupos de muestras analizadas.

En la figura 88 se puede visualizar las cuatro muestras obtenidas en el eje XZ, donde se tiene una media de -0.75 y una desviación estándar de 2.62, se obtuvo un error positivo de 1.87 y un error negativo de -3.37 en el eje XZ con respecto a la utilización del goniómetro físico en la evaluación del arco de movimiento de codo, este eje es el que mejor responde con los datos del goniómetro físico aproximándose en 3 grados.

En la figura 89 se puede visualizar las cuatro muestras obtenidas en 3 dimensiones, donde se tiene una media de 5.75 y una desviación estándar de 2.22, se identificó un error positivo de 7.97 en el eje XZ con respecto a la utilización del goniómetro físico en la evaluación del arco de movimiento de codo, este análisis es el más importante de los 4 grupos de muestra, ya que el ángulo en 3 dimensiones es el ángulo más cercano al ángulo real del goniómetro.

En la recopilación de las muestras, la gráfica de la figura 90 se puede visualizar un gran número de muestras dentro del límite inferior y superior, por lo que con una media de 1.81 y una desviación estándar de 5.79, se comprobó un error del goniómetro virtual multipunto de extremidades superiores con respecto al goniómetro físico es de ± 7.6 aproximando a $\pm 8^\circ$.

5.3 Comprobación de la Hipótesis

Mediante los resultados obtenidos en la implementación del sistema, como también la información generada por las muestras del experimento de validación, se puede afirmar que el sistema de realidad virtual denominado Goniómetro Virtual Multipunto de Extremidades Superiores permite evaluar el movimiento corporal humano en tiempo real.

CONCLUSIONES

- El Kinect de segunda generación de Microsoft es un dispositivo de tracking óptico de gran prestación, permitiéndole ser un dispositivo de suma importancia en proyecto de evaluación corporal humana.
- El sistema de realidad virtual denominado goniómetro virtual multipunto de extremidades superiores es un instrumento funcional para la utilización en el área de fisioterapia y fisioterapia, ya que, en diferentes pruebas realizadas con posiciones de fisioterapia, se observa una respuesta en tiempo real de los arcos de movimiento en tres distintos planos.
- El goniómetro virtual multipunto de extremidades superiores por medio de un experimento de 16 muestras en los distintos planos corporales evaluados se determinó que tiene un error de $\pm 8^\circ$ con respecto al goniómetro físico, dando a conocer así la precisión del instrumento.
- El goniómetro virtual multipunto de extremidades superiores puede evaluar con gran eficiencia a una distancia de 2.5 a 3.5 metros del Kinect 2.0, esto debido a que el sistema puede evaluar en varios planos y en algunas ocasiones puede existir pérdida de información.
- El sistema de realidad virtual está totalmente programado en Microsoft Visual Studio, ya que este software de programación es de Microsoft como el Kinect 2.0, permitiéndonos así asegurar la comunicación entre el ordenador y el Kinect 2.0.
- La facilidad de uso del sistema de realidad virtual denominado goniómetro virtual multipunto de extremidades superiores permite evaluar de forma más ágil los arcos de movimiento, ya que con el goniómetro físico se debe ubicar en una sola posición con las manos y dificulta la evaluación.

RECOMENDACIONES

- El usuario a evaluar se encuentre a una distancia entre 2.5 a 3.5 metros del Kinect 2.0 y en el centro de la línea celeste, esto permite evaluar con normalidad las extremidades superiores.
- Es necesario que el usuario a ser evaluador por el goniómetro virtual multipunto no use ropa holgada o chompa, ya que obstruye la visualización correcta de las extremidades superiores generando errores de detección esquelética.
- La ubicación manual del Kinect 2.0 es muy importante, ya que esto permite que la detección esquelética sea correcta, por lo que, si se observa algún error en la imagen o error de enfoque, se mueva la cámara que se encuentra conectada al sistema de realidad virtual hasta que se resuelva el error.
- Para realizar una captura correcta del sistema, es necesario pausar el sistema de realidad virtual, ya que, si capturamos la imagen en tiempo real, se capturará la imagen cuando se ingrese en nombre de la imagen.
- Se recomienda que el ordenador a utilizar para correr el programa tenga instalado el último SDK 2.0 de Kinect 2 para Windows y una memoria RAM de 6 Gb, un procesador i7 y con tarjeta gráfica dedicada, todo esto para que no ocurra ningún problema de ejecución.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albiol Pérez, S. (2014). *Rehabilitación Virtual Motora: Una Evaluación al tratamiento de pacientes con Daño Cerebral Adquirido*. Recuperado el 14 de Agosto de 2016, de Repositorio - Universidad Politécnica de Valencia: <https://riunet.upv.es/handle/10251/38450>
- Anatomiahumana6qb. (s.f.). *Planos Corporales*. Recuperado el 25 de Agosto de 2016, de Anatomiahumana6qb Web: <https://anatomiahumana6qb.wikispaces.com/Anatomia>
- Chávez, F., Mejía, R., & Pacheco, G. (2005). *Introducción a la metrología dimensional*. México, D.F.: Instituto Politécnico Nacional. Recuperado el 01 de Septiembre de 2016, de ProQuest ebrary. Web: <http://www.ebrary.com>
- Chuya , J., Cuenca, M., & Delgado, K. (Septiembre de 2013). *Diseño e implementación de un sistema para el análisis del movimiento humano usando sensores Kinect*. Recuperado el 16 de Agosto de 2016, de Repositorio Digital - Universidad Politécnica Salesiana: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/5092>
- Cortés, G., Aguilar, G., & Dueñas, O. (s.f.). *Diseño de Algoritmo para Rehabilitación Virtual basado en la Cámara Kinect*. Recuperado el 14 de Agosto de 2016, de Universidad José Simeón Cañas UCA-El Salvador: http://cef.uca.edu.sv/noticiasfia/img/kinect/Rehabilitacion_Virtual_Con_Kinect.pdf
- Dueñas, J. (Julio de 2014). *Sistemas de información y bases de datos en consumo*. (IC, Ed.) Recuperado el 30 de Agosto de 2016, de ProQuest ebrary Web: <http://www.ebrary.com>
- Garatachea Vallejo, N. (2012). *Evaluación de la capacidad física*. (E. D. Santos, Ed.) Recuperado el 01 de Septiembre de 2016, de ProQuest ebrary. Web: <http://www.ebrary.com>

- González García, J. A. (2012). *Fisioterapia*. (S.L, Bubok Publishing, Ed.)
Recuperado el 14 de Agosto de 2016, de ProQuest ebrary. Web:
<http://www.ebrary.com>
- Gutiérrez, A. (s.f.). *Curso de anteproyectos y proyectos de investigación*. Quito:
AGM.
- Hachaj, T., Ogiela, M., & Koptyra, K. (2015). Effectiveness comparison of Kinect
and Kinect 2 for recognition of Oyama karate techniques. *18th International
Conference on Network-Based Information Systems*, 6.
doi:10.1109/NBiS.2015.51
- Ifixit.com. (s.f.). *Kinect 2*. Recuperado el 29 de Agosto de 2016, de Ifixit.com:
<https://www.ifixit.com/Teardown/Xbox+One+Kinect+Teardown/19725>
- Lower, B., Relyea, R., Kaplan, J., Simari, M., & Meekhof, C. (16 de Julio de 2014).
Kinect 2.0. Recuperado el 23 de Mayo de 2016, de Microsoft Corporation:
<https://mva.microsoft.com/en-US/training-courses/programming-kinect-for-windows-v2-jump-start-9088>
- Makeamo. (Febrero de 2016). *Esqueleto*. Recuperado el 12 de Septiembre de
2016, de sketchfab.com: skfb.ly/KLZt
- Mejía Luna, J. N. (Septiembre de 2012). *REALIDAD VIRTUAL, Estado del arte y
análisis crítico*. Recuperado el 14 de Agosto de 2016, de
repositorio.educacionsuperior.gob.ec:
<http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/515/1/T-SENESCYT-0326.pdf>
- Microsoft Corporation. (2010). *Visual Studio*. Recuperado el 31 de Agosto de
2016, de Microsoft Corporation: [https://msdn.microsoft.com/es-es/library/fx6bk1f4\(v=vs.100\).aspx](https://msdn.microsoft.com/es-es/library/fx6bk1f4(v=vs.100).aspx)

- Microsoft Corporation. (2013). *Visual Studio 2013*. Recuperado el 31 de Agosto de 2016, de Microsoft Corporation: [https://msdn.microsoft.com/en-us/library/dd831853\(v=vs.120\).aspx](https://msdn.microsoft.com/en-us/library/dd831853(v=vs.120).aspx)
- Microsoft Corporation. (s.f.). *Kinect for Windows SDK 1.8*. Recuperado el 28 de Agosto de 2016, de Microsoft Corporation: <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/hh855347.aspx>
- Microsoft Corporation. (s.f.). *Kinect for Windows SDK 2.0*. Recuperado el 28 de Agosto de 2016, de Microsoft Corporation: <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/dn799271.aspx>
- Microsoft Corporation. (s.f.). *MSDN Library*. Recuperado el 28 de Agosto de 2016, de Microsoft Corporation: msdn.microsoft.com
- Nexthealth. (s.f.). *Goniómetro*. Recuperado el 2016 de Agosto de 23, de Nexthealth.cl: <http://www.nexthealth.cl/product/goniometro-modelo-no-2>
- Quirumed. (s.f.). *Goniómetro Digital*. Recuperado el 2016 de Agosto de 23, de Quirumed Web: <http://www.quirumed.com/en/digital-goniometer.html?sid=59841>
- Taboadela, C. (2007). *Goniometría: una herramienta para la evaluación de incapacidades*. Buenos Aires: Asociart SA ART.
- Velarde, P., Perugachi, E., Vintimilla, B., & Romero, D. (s.f.). *Seguimiento y Análisis del Movimiento de las Extremidades Superiores Aplicado a la Rehabilitación Física de un Paciente Usando Técnicas de Visión Artificial*. Recuperado el 16 de Agosto de 2016, de Repositorio - Escuela Superior Politécnica del Litoral: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/31846>
- Wordpress. (s.f.). *Esqueleto Humano*. Recuperado el 25 de Agosto de 2016, de Wordpress.com: <https://micuerpohumano.wordpress.com/2011/07/07/>

ANEXOS



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por el señor **WILLIAM MAURICIO LÓPEZ VILLAVICENCIO**.

En la ciudad de Latacunga, a los **23 días del mes de enero del 2017**.

Ing. Edwin Patricio Pruna Panchi
Director del Proyecto

Aprobado por:

Ing. Franklin Manuel Silva Monteros
Director de Carrera

Dr. Rodrigo Vaca Corrales
Secretario Académico