



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN

**“SISTEMA DE CAPTURA DE MOVIMIENTO PARA ASISTIR EL ENTRENAMIENTO
DEL CLUB DE TAEKWONDO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE”**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERA
EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN**

AUTORA: NADIA NATHALY SÁNCHEZ POZO

DIRECTOR: MSC. JAIME ROBERTO MICHILENA CALDERÓN

IBARRA-ECUADOR

2018



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información.

DATOS DEL CONTACTO	
Cédula de identidad	0401689674
Apellidos y Nombres	Sánchez Pozo Nadia Nathaly
Dirección	Pilanquí Pasaje D
E-mail	nnsanchez@utn.edu.ec
Teléfono móvil	0959804799
DATOS DE LA OBRA	
Título	Sistema de captura de movimiento para asistir el entrenamiento del club de taekwondo de la Universidad Técnica del Norte.
Autor	Sánchez Pozo Nadia Nathaly

Fecha	Marzo de 2018
Programa	Pregrado
Título	Ingeniera en Electrónica y Redes de Comunicación
Director	Ing. Jaime Michilena Calderón, MSc.

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD.

Yo, Sánchez Pozo Nadia Nathaly, con cedula de identidad Nro. 0401689674, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en forma digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad de material y como apoyo a la educación, investigación y extensión, en concordancia con la ley de Educación Superior Artículo 144.

3. CONSTANCIAS.

Yo, Sánchez Pozo Nadia Nathaly declaro bajo juramento que el trabajo aquí escrito es de mi autoría; y que este no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional y que he consultado las referencias bibliográficas que se presentan en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Técnica del Norte, según lo establecido por las

leyes de propiedad intelectual, reglamentos y normatividad vigente de la Universidad Técnica del Norte.

En la ciudad de Ibarra, marzo de 2018.

EL AUTOR

A handwritten signature in blue ink, reading "Nadia Sánchez Pozo". The signature is written in a cursive style. Below the signature is a horizontal line of small black dots.

Sánchez Pozo Nadia Nathaly

CI: 0401689674



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.

Yo, Sánchez Pozo Nadia Nathaly, con cedula de identidad Nro. 0401689674, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor del trabajo de grado con el tema: SISTEMA DE CAPTURA DE MOVIMIENTO PARA ASISTIR EL ENTRENAMIENTO DEL CLUB DE TAEKWONDO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE. Que ha sido desarrollado con propósito de obtener el título de Ingeniero en Electrónica y Redes de Comunicación de la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

A handwritten signature in blue ink, reading 'Nadia Sánchez Pozo', is written over a dotted line.

Sánchez Pozo Nadia Nathaly

0401689674

Ibarra, marzo de 2018



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN.

MAGISTER JAIME MICHILENA, DIRECTOR DEL PRESENTE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA:

Que, el presente trabajo de Titulación “SISTEMA DE CAPTURA DE MOVIMIENTO PARA ASISTIR EL ENTRENAMIENTO DEL CLUB DE TAEKWONDO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.” Ha sido desarrollado por la señorita Sánchez Pozo Nadia Nathaly bajo mi supervisión.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor de la verdad.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Jaime Michilena", is written over a horizontal line.

Ing. Jaime Michilena, MSc.

1002198438

DIRECTOR

Dedicatoria.

Este proyecto va dedicado a mi hijo Robert, por ser mi principal motivación por esforzarme día a día para lograr el cumplimiento de mis metas. A mis padres Julio y Aida, los cuales con su apoyo incondicional sus consejos me han guiado en cada paso de mi vida. A mis familiares quienes con sus palabras de apoyo y confianza han contribuido para el logro de mi objetivo. A mis amigos y compañeros de carrera.

Agradecimiento.

Agradezco a Dios por darme la vida e iluminar mi camino, a mi familia, en especial a mi madre por su apoyo y consejos.

Agradecimiento especial a mi director de tesis MSc. Jaime Michilena quien con sus conocimientos contribuyo y motivó a realizar un excelente trabajo y la culminación de este, de igual forma agradezco al Ing. Omar Oña por todo el apoyo y guía proporcionado.

A todos los docentes y amigos de la Carrera De Ingeniería Electrónica Y Redes De Comunicación quienes compartieron sus enseñanzas conmigo, siendo un apoyo fundamental a lo largo de la carrera universitaria.

Por último, agradezco a los integrantes del club de Taekwondo de la UTN en especial a la instructora Vanessa Méndez, por toda su colaboración, enseñanza y apoyo para la realización de este proyecto.

Índice.

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.	I
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.....	IV
CERTIFICACIÓN.	V
Dedicatoria.....	VI
Agradecimiento.....	VII
Índice.....	VIII
Índice de Ilustraciones	XI
Índice de Tablas	XII
Resumen.....	XIII
Abstract.....	XIV
Capítulo 1. Antecedentes.	1
1.1. Tema.....	1
1.2. Problema.....	1
1.3. Objetivos	2
1.3.1. Objetivo general.....	2
1.3.2. Objetivos específicos.	3
1.4. Alcance.....	3
1.5. Justificación.....	4
Capítulo 2. Revisión bibliográfica	6
2.1. Taekwondo.....	6
2.1.1. Origen del Taekwondo.....	6
2.1.2. Formas.....	7
2.1.3. Errores de posturas.....	12
2.2. Análisis Biomecánico.....	15
2.2.1. Campo de estudio.....	15
2.2.2. Biomecánica deportiva.....	15
2.2.3. Análisis biomecánico en Taekwondo.....	16
2.3. Procesamiento de imágenes.	16
2.3.1. Imagen.....	17
2.3.2. Método de procesamiento de imagen.....	17
2.3.3. Etapas del procesamiento de imágenes	18
2.4. Sistema de Captura de Movimiento.	18
2.5. Estudio de Kinect	19
2.5.1. Software de Kinect.....	20
2.5.2. Hardware de Kinect.....	21
2.5.3. Aplicaciones.....	24

2.5.4. Limitaciones	24
2.6. Norma IEEE 29148.....	25
2.7. Metodologías de desarrollo de Software.....	25
2.7.1. Modelo en V o de cuatro niveles.....	25
2.7.2. Modelo en cascada.	27
2.7.3. Modelo espiral.....	27
Capítulo 3. Diseño	29
3.1. Descripción general del sistema.....	29
3.1.1. Propósito.	29
3.1.2. Alcance del sistema.....	29
3.1.3. Limitaciones del sistema.	30
3.2. Desarrollo del sistema de captura de movimiento.	30
3.3. Análisis.....	31
3.3.1. Situación Actual.....	31
3.3.2. Encuesta.....	33
3.3.3. Análisis de Encuesta.....	36
3.4. Requerimientos Del Sistema de captura de movimiento	39
3.4.1. Stakeholders.	39
3.4.2. Nomenclatura de los requerimientos a usarse.	40
3.4.3. Requerimientos de Stakeholders.	41
3.4.4. Requerimientos del sistema.....	42
3.4.5. Requerimientos de Arquitectura.....	44
3.5. Elección de Hardware y software para el diseño	45
3.5.1. Elección de Hardware.....	45
3.5.2. Elección de Software.....	46
3.6. Diseño del sistema de captura de movimiento.....	47
3.6.1. Diagrama de bloques del sistema de captura de movimiento.	48
3.6.2. Diagrama de conexión del sistema de captura de movimiento.	50
3.6.3. Segmentación del sistema de captura de movimiento.....	56
3.6.4. Evaluación de las posturas del deportista.....	65
3.6.5. Diagrama de flujo del sistema de captura de movimiento.	69
3.7. Pruebas de integración.	73
3.7.1. Prueba instalación dispositivo Kinect V2.	74
3.7.2. Prueba comunicación Kinect v2 aplicación.	75
3.7.3. Prueba de ubicación del sensor.	75
3.7.4. Prueba de ángulos detectados por el sensor.	76
Capítulo 4. Pruebas de Funcionamiento	80

4.1. Pruebas del sistema.	80
4.1.1. Población y muestra para las pruebas del sistema.	80
4.1.2. Prueba de funcionamiento del sistema.	81
4.1.3. Resultados prueba del sistema.	84
4.2. Pruebas por postura.	85
4.2.1. Sección 1 Postura Are Makgui.	86
4.2.2. Sección 2 Postura Momthon Makgui.	88
4.2.3. Sección 3 Postura Olgul Makgui.	90
4.2.4. Sección 4 Postura Momthon Jirugui.	92
4.3. Verificación de requerimientos.	94
4.4. Evaluación del sistema.	95
4.5. Costos del sistema.	96
CONCLUSIONES.	97
RECOMENDACIONES.	98
Glosario de Términos y Acrónimos.	103
Anexos.	107
Anexo A. Código de programación.	107
Anexo B. Clase IDpostura	123
Anexo C. Base de datos.	126
Anexo D. Formato de encuesta.	128
Anexo E. Evaluación experto.	136
Anexo F. Resultados evaluación por postura.	139

Índice de Ilustraciones

Figura 1. Líneas y dirección de los movimientos de Poomsae Taegeuk 1	10
Figura 2. Estructura del entorno OpenNi.....	21
Figura 3. Kinect para Xbox 360 vs Kinect Xbox One a) Kinect v1, cámara RGB, infrarrojo b) Kinect v2 cámara RGB, infrarrojo.	22
Figura 4. Modelo de desarrollo.	31
Figura 5. Diagrama de bloques del sistema de captura de movimiento.....	48
Figura 6. Diagrama de conexión del sistema de captura de movimiento.....	50
Figura 7. Elementos del sensor Kinect v2.....	51
Figura 8. a) Chip Microsoft X871141-001	52
Figura 9. Diagrama fuente de alimentación 12V sensor Kinect.	53
Fuente: Elaborado por el autor.....	53
Figura 11. Vista inicio.....	60
Figura 12. Vista Registro deportistas.....	61
Figura 13. Vista Opciones.....	62
Figura 14. Vista Entrenar.....	63
Figura 15. Vista Visualización.....	64
Figura 16. Resultados Evaluación.....	65
Figura 17. Coordenadas de referencia sensor Kinect v2.....	66
Figura 18. Articulaciones captadas por el sensor Kinect v2.....	66
Figura 19. Diagrama de flujo del Programa parte 1	70
Figura 20. Diagrama de flujo del Programa parte 2.....	71
Figura 21. Diagrama de flujo aplicación entrenar.....	73
Figura 22. Pantalla Kinect v2 Configuration Verifer.....	74
Figura 23. Pantalla aplicación captura de posturas basicas.....	75
Figura 24. Ubicación del sensor Kinect v2.	76
Figura 25: Resultados pruebas de funcionamiento.	85
Figura 26. Ejemplo resultado sección 1 postura Are Makgui.....	87
Figura 27. Ejemplo sección 2 postura Momthon Makgui.....	89
Figura 28. Resultado sección 3 postura Olgul Makgui.	91

Figura 29. Resultado sección 4 postura Momthon Jirugui.....	93
---	----

Índice de Tablas

Tabla 1. Cinturones y Grados Taekwondo.....	8
Tabla 2. Movimientos del Poomsae Taegeuk 1	11
Tabla 3. Errores en la ejecución de posturas.....	12
Tabla 4. Tipos de sistemas de captura de movimiento.....	19
Tabla 5. Comparativa de Kinect v1 vs Kinect v2	23
Tabla 6 Stakeholders presentes en el sistema	40
Tabla 7 Abreviaturas de Requerimientos del Sistema de Captura de movimiento.....	40
Tabla 8. Requerimientos de Stakeholders.....	41
Tabla 10 Requerimientos de Arquitectura.	44
Tabla 11. Evaluación de sensor de movimiento.....	46
Tabla 12. Evaluación de software.	47
Tabla 13. Posturas básicas para el entrenamiento.....	58
Tabla 14. Ángulos definidos	67
Tabla 15. Comparación de ángulos.....	77
Tabla 16. Ángulos utilizados en el sistema.....	78
Tabla 17. Pruebas de funcionamiento del sistema.....	82
Tabla 18. Resultados pruebas de funcionamiento.....	84
Tabla 19. Pruebas sección 1 postura Are Makgui.....	86
Tabla 20. Pruebas sección 2 postura Momthon Makgui.....	88
Tabla 21. Pruebas sección 3 postura Olgul Makgui.....	90
Tabla 22. Pruebas sección 4 postura Momthon Jirugui	92
Tabla 23. Verificación y cumplimiento de requerimientos.....	94
Tabla 24 Costo sistema de captura de movimiento.....	96

Resumen.

En el presente proyecto se desarrolla un sistema de captura de movimiento para asistir el entrenamiento de los miembros del club de Taekwondo de la “Universidad Técnica del Norte”, mediante la utilización de un sensor de movimiento, el cual monitorea la ejecución de las posturas básicas de la Poomsae Taegeuk 1.

El sistema utiliza la tecnología de captura de movimiento del sensor Kinect v2 el cual permite obtener las coordenadas de las articulaciones del cuerpo humano en el plano tridimensional, además cuenta con una aplicación de evaluación de posturas básicas que determina errores en el entrenamiento de posturas básicas del Poomsae Taegeuk 1.

Las pruebas de funcionamiento del sistema se realizaron bajo la supervisión de un experto en la disciplina deportiva, logrando así determinar la fiabilidad y exactitud de este, las pruebas fueron ejecutadas dentro del club de Taekwondo de la Universidad Técnica del Norte, contando con la participación de practicantes de diferente estatura, edad y cinturón.

Los resultados obtenidos al realizar las pruebas de funcionamiento del sistema en base a las posturas Are Makgui (Defensa baja), Olgul Makgui (defensa alta), Momthon Jirugui (golpe de puño), Momthon Makgui (defensa media), de la aplicación entrenar, permitieron definir el porcentaje de aciertos del sistema en las diferentes posturas, al igual que el nivel de confianza, siendo este igual al 90.83%. Concluyendo así que el sistema facilita la detección de errores de posturas básicas del Poomsae Taegeuk 1.

Abstract.

In this research project it is developed a motion capture system to attend the training of the members of the Taekwondo club of the "Técnica del Norte" university using a motion sensor, which monitors the execution of the basic positions of the Poomsae Taegeuk 1.

The system uses the motion capture technology of the Kinect v2 sensor which allows to obtain to obtain coordinates of the joints of the human body in the three-dimensional plane, it also has an application for evaluating basic postures that determines errors in the training of basic postures of the Poomsae Taegeuk 1.

The tests of operation of the system were carried out under the supervision of an expert in the sports discipline, achieving thus determining the reliability and accuracy of this, the tests were carried out within the Taekwondo club of the "Técnica del Norte" university with the participation of practitioners of different height, age and different degree gbel.

The results obtained when performing the system performance tests based on the positions Are Makgui (Low Defense), Olgul Makgui (high defense), Momthon Jirugui (punch), Momthon Makgui (middle defense), the training application, allowed to define the percentage of hits of the system in the different positions, just like the level of trust, being equal to 90.83%. Concluding that the system facilitates the detection of errors of basic postures of the Poomsae Taegeuk 1.

Capítulo 1. Antecedentes.

En este capítulo se dará a conocer la problemática que se desea resolver, objetivos, y posible solución.

1.1. Tema.

SISTEMA DE CAPTURA DE MOVIMIENTO PARA ASISTIR EL ENTRENAMIENTO DEL CLUB DE TAEKWONDO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.

1.2. Problema.

El taekwondo es un arte marcial, originario de Corea, pasó a formar parte de los deportes olímpicos en el año 1988 en las Olimpiadas de Seúl. Presenta un sistema preciso de ejercicios y movimientos creados para la autodefensa y contraataque (De Prado, 2011). El club de Taekwondo de la Universidad Técnica del Norte, presenta gran aceptación por parte de la comunidad universitaria, este organismo acoge a participantes de diferentes edades, los cuales se inician a los 8 años, para lo cual los integrantes reciben la guía de un instructor, éste indica los lineamientos a seguir durante el entrenamiento, este consiste en un calentamiento previo y luego se ejecutan diferentes rutinas de ejercicios dependiendo del estado físico y el tiempo que ya se ha realizado la preparación respectiva. (Méndez, s. f)

Durante el desarrollo del entrenamiento de Taekwondo en la UTN, los participantes al momento de realizar las practicas indicadas por el instructor comenten errores en su ejecución, por ejemplo, no realizan posturas correctas. En ocasiones, dichos errores pueden pasar desapercibidos por el instructor y por tanto no reciben la atención ni las correcciones necesarias, es decir, no se

toma en consideración las fallas existentes durante la práctica de Poomsae Taegeuk 1, considerando que al realizar una actividad física se requiere trabajar varios músculos del cuerpo humano y al no realizar de forma correcta el movimiento de brazos, piernas o cadera, esto puede causar contracturas musculares (Castañeda, 2004).

Al iniciar en un programa de preparación de Taekwondo se requiere de una enseñanza técnica supervisada para corregir errores de postura. Para mejorar la calidad del actual entrenamiento y elevar el rendimiento de los deportistas se ve la necesidad de diseñar un sistema de captura de movimiento empleando el uso de nuevas tecnologías, mediante el uso de un dispositivo denominado Kinect se monitoreará las posturas del individuo y mediante el acoplamiento a una aplicación computacional se analizará los movimientos básicos de la práctica de Poomsae Taegeuk 1.

La utilización de un sistema de captura de movimiento para asistir el entrenamiento de Taekwondo, aplicando nuevas tecnologías, permitirá reconocer los errores que comente el deportista en la ejecución de su instrucción.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general.

Diseñar un sistema de captura de movimiento para asistir el entrenamiento y detectar posibles errores de postura básica durante la práctica de Poomsae Taegeuk 1 de los miembros del club de Taekwondo de la “Universidad Técnica del Norte”.

1.3.2. Objetivos específicos.

- Realizar una revisión de literatura sobre análisis biomecánico en artes marciales (Taekwondo) enfocada a las posturas básicas de Poomsae Taegeuk 1.
- Desarrollar una aplicación para captura de posturas básicas.
- Realizar las pruebas de funcionamiento del sistema y corregir posibles fallos.
- Evaluar el funcionamiento del sistema, mediante la ejecución del mismo en el club de Taekwondo de la “Universidad Técnica del Norte”.

1.4. Alcance.

En el presente proyecto se diseñará un sistema de captura de movimiento para asistir el entrenamiento, y facilitar la detección de errores de postura básica en la práctica de Poomsae Taegeuk 1, de los miembros del club de Taekwondo de la “Universidad Técnica del Norte, a escala de laboratorio.

Se analizará la literatura sobre análisis biomecánico en artes marciales (Taekwondo) enfocada a prácticas de Poomsae Taegeuk 1 para obtener la información detallada de las posturas básicas.

Para definir los requerimientos del sistema tanto de software y hardware se seguirá la norma IEEE 29148, la cual permitirá la selección de los elementos a emplearse en el sistema. Partiendo de los requerimientos, bajo la metodología del modelo en V se definirá el software y hardware idóneo para el diseño y desarrollo del sistema.

Se desarrollará una aplicación para captura de posturas básicas, la cual almacenará los datos en el disco duro del ordenador, obtenidos por Kinect, que permitirá el reconocimiento de movimientos de un único usuario, mediante este se indicará una puntuación para evaluar la

realización de las distintas posturas básicas de la práctica de Poomsae Taegeuk 1, esta práctica se la ira reproduciendo paso a paso conforme lo indique la aplicación, cuando se concluya se realizará dicha evaluación en base a un algoritmo el cual permitirá determinar que partes de la postura es incorrecta.

Se realizará pruebas de funcionamiento del sistema, al finalizar estas pruebas se depurará errores del sistema si los existiera, para garantizar el funcionamiento óptimo del mismo.

Finalmente se estudiarán los datos obtenidos mediante la aplicación del nuevo sistema de preparación para evaluar el funcionamiento del sistema, mediante la ejecución del mismo en el club de Taekwondo de la “Universidad Técnica del Norte”.

1.5. Justificación.

Este proyecto contribuirá con el Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017, debido a que en la política 3.7 en el literal g), manifiesta que impulsar la organización, el asociativismo o la agrupación en materia deportiva o cualquier actividad física permanente o eventual, de acuerdo a las necesidades, aptitudes y destrezas de sus integrantes. (Secretaría Nacional De Planificación Y Desarrollo, 2013)

Actualmente la realización de ejercicio físico genera múltiples beneficios para la salud ya que ayuda a prevenir varias enfermedades, mejora la actividad cerebral, las capacidades cognitivas, mejora los procesos de socialización, rendimiento escolar. Las consecuencias de la inactividad física tales como aumento de peso corporal, enlentecimiento de la circulación entre otros (Weinberg, 2010).

La práctica de taekwondo mejora la autoestima y construye confianza, mediante el entrenamiento de esta disciplina se aprende a identificar situaciones en las que puede ser necesaria la defensa personal, esta aplicación permitirá mejorar la calidad del entrenamiento logrando alcanzar mayor coordinación física y disciplina mental (Park, Park, & Jon, 2009).

Esta investigación beneficiara a los integrantes del club de Taekwondo de la UTN al tener la posibilidad de utilizar sistema de captura de movimiento para asistir el entrenamiento de Poomsae Taegeuk 1.

Capítulo 2. Revisión bibliográfica

En este capítulo se estudiarán los conceptos de análisis biomecánico en artes marciales (Taekwondo) enfocada a las posturas básicas de Poomsae Taegeuk 1, y las características de Kinect afines a la presente investigación.

2.1. Taekwondo.

Taekwondo es un arte marcial de origen coreano y a su vez una de las artes marciales más practicadas mundialmente. La Federación Mundial de Taekwondo, lo define como un arte científico y sistemático ya que además de desarrollar habilidades de lucha esta disciplina permite realzar el espíritu al ser un entrenamiento físico y mental lo que genera cambios en la forma de vida de todos aquellos que practican dicho arte (Stepan, 2002).

2.1.1. Origen del Taekwondo.

En 1955 se propuso el nombre Taekwondo, el cual fue aprobado por los maestros de artes marciales de la época. El arte denominado Taekwondo se deriva de “Tae” =pie, “kwon” =puño, “do” =camino, es decir “camino de los pies y de los puños”.

2.1.1.1 Organizaciones más importantes.

- Federación Internacional de Taekwondo (ITF) fundada en 1966 por el presidente de la Asociación Coreana de Taekwondo.
- Asociación mundial de taekwondo (WTF) creada en 1970.

2.1.1.2 Características generales.

El taekwondo se caracteriza por el empleo de técnicas de patadas, técnicas de golpes con diferentes partes del cuerpo, además se añaden técnicas de ataque con puño o mano abierta, bloqueos y defensa. Además, se incluye la práctica de técnicas de defensa personal. Para la ejecución de las diversas técnicas, es significativo la posición correcta del cuerpo. Los nombres de las técnicas no se encuentran estandarizados ya que se practican en diferentes países, dependiendo del idioma de estos se han optado por diferentes nombres, pero en algunas escuelas conserva el nombre original coreano (Park, Park, & Jon, 2009).

2.1.2. Formas.

Las formas son secuencias de movimientos de defensa y ataque que simula un combate. En ITF se denominan “tules” y en WTF se denomina “Poomsae”, la ejecución repetitiva y memorización de estas formas incrementan el equilibrio, elasticidad, concentración y rapidez, y el dominio de los diferentes movimientos. En la ejecución de las formas es importante la concentración y coordinación de los movimientos.

2.1.2.1 Definición de Poomsae TAEGUK.

Los Poomsae TAEGUK son un conjunto de movimientos, que el estudiante puede practicar libremente para mejorar su rendimiento en la ejecución de dichos Poomsae la palabra TAE significa grandeza y GUK eternidad (Akilian, 2009).

Poomsae es una serie de movimientos técnicos de defensa y ataque, mediante la práctica permite mejorar el equilibrio, coordinación y precisión del movimiento. Los TAEGUK son un

grupo de 8 Poomsae asociados a los grados de cinturones GUP ya que para ascender a un grado GUP superior se incluyen en los exámenes para el cambio de cinturones de colores hasta llegar a cinturones negros (Akilian, 2009) .

2.1.2.2. Clasificación de Poomsae.

Actualmente existen dos grupos de poomsae: Gup y Dan

- Poomsae de Gup:
Se compone de “Taegeuk 1 Jhan – 8 Jhan (Akilian, 2009).
- Poomsae de Dan
Se compone de “Goryo, Gumgan, Tebek, Phyonwon, Sibchin, Chite, Chonkwon, Jansu, Ilyo (Akilian, 2009).

2.1.2.3. Grados de Taekwondo.

El aprendizaje de los estudiantes de Taekwondo es evaluado por medio de grados, existen los grados Gup y Dan la Asociación mundial de taekwondo ha definido los siguientes grados y cinturones, ver tabla 1.

Tabla 1

Cinturones y Grados Taekwondo

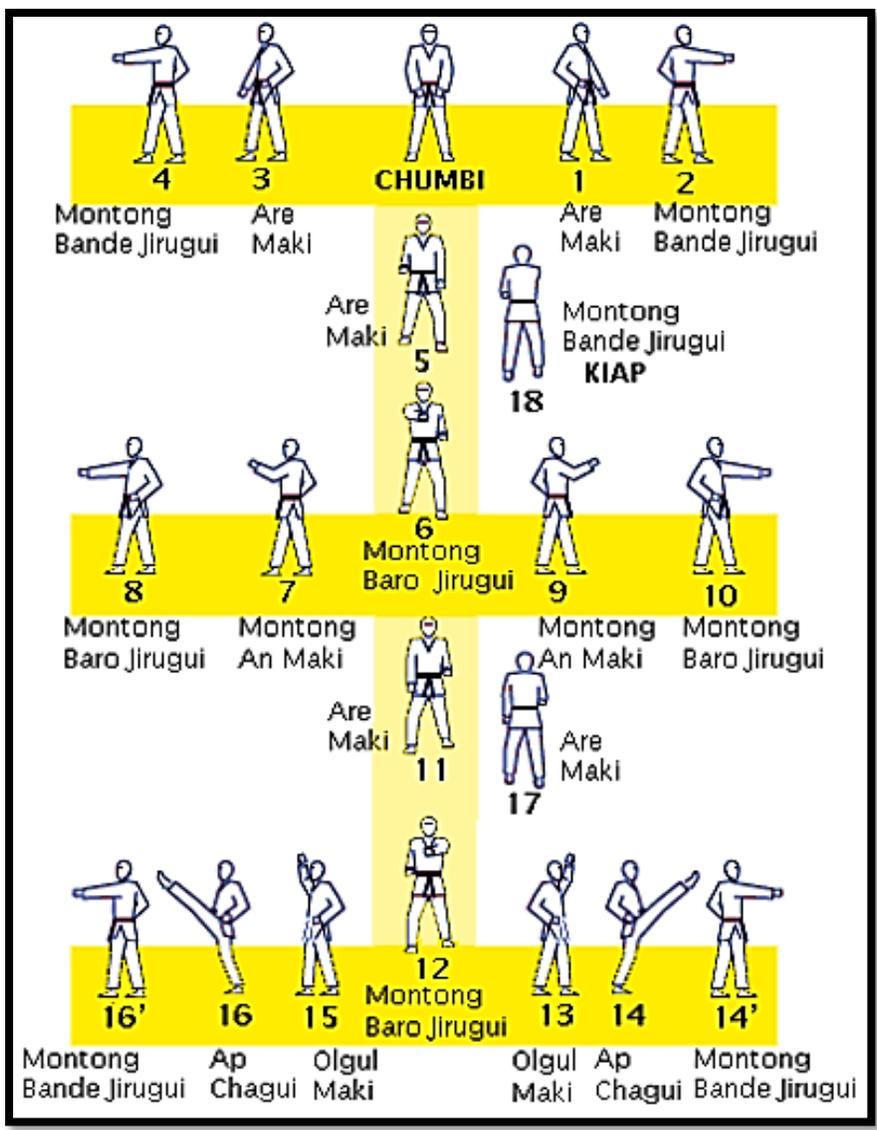
Grado	Cinturón	Significado
GUP 10	Blanco.	“Simboliza la inocencia”, la carencia de conocimientos y habilidades.
GUP 9	Blanco-amarillo.	

GUP 8	Amarillo.	“Simboliza la tierra”, el comienzo de los fundamentos del Taekwondo en el practicante.
GUP 7	Amarillo-verde.	
GUP 6	Verde.	“Simboliza la planta” el crecimiento y mejora de las habilidades.
GUP 5	Verde-azul.	
GUP 4	Azul.	“Simboliza el cielo”, el progreso del entrenamiento.
GUP 3	Azul-rojo.	
GUP 2	Rojo.	“Simboliza el peligro” el dominio de las técnicas.
GUP 1	Rojo-negro.	
DAN 1	Negro.	“Simboliza lo opuesto al blanco” la madurez y el comienzo de los Danes.

Fuente: Elaborado por el Autor.

2.1.2.4. Poomsae Taegeuk 1

Poomsae Taegeuk 1 es el primero de todos los Poomsae, representa el símbolo de “GUON”, uno de los 8 Gue (signos de adivinación) filosóficamente se traduce como el principio de todo en la tierra y el origen de la creación de todas las cosas del universo, este Poomsae se evalúa en el ascenso de cinturón blanco a amarillo. Se caracteriza por la facilidad de practicarlo ya que consiste en desplazamientos y acciones básicas tales como: Are Makgui (defensa a la zona baja), Momthon Makgui (defensa a la zona media bloqueando desde afuera hacia adentro), Momthon Jirugui (Golpe del tronco) y Ap Chagui (Patada Frontal), Ap Sogui y Ap Kubi son un paso normal. Todas las acciones se ejecutan como una sola a través de un trigram (serie de tres líneas), (Akilian, 2009). En la figura 1 se puede apreciar las diferentes posturas.



Figural. Líneas y dirección de los movimientos de Poomsae Taegeuk 1

Fuente: TAEGEUK IL CHANG Recuperado de: (JIMDO, 2011)

Tabla 2

Movimientos del Poomsae Taegeuk 1

Secuencia	Movimiento	Posición	Técnica
1	1	Ap Sogui	Are Makgui
2	2	Ap Sogui	Momthon Bande Jirugui
3	3	Ap Sogui	Are Makgui
4	4	Ap Sogui	Momthon Bande Jirugui
5	5	Ap kubi Sogui	Are Makgui
6	6	Ap kubi Sogui	Momthon Baro Jirugui
7	7	Ap Sogui	Momthon an Makgui
8	8	Ap Sogui	Momthon Baro Jirugui
9	9	Ap Sogui	Momthon An Makgui
10	10	Ap Sogui	Momthon Baro Jirugui
11	11	Ap kubi Sogui	Are Makgui
12	12	Ap kubi Sogui	Momthon Baro Jirugui
13	13	Ap Sogui	Olgul Makgui
14	14		Ap chagui
14'	15	Ap Sogui	Momthon Bande Jirugui
15	16	Ap Sogui	Olgul Makgui
16	17		Ap chagui
16'	18	Ap Sogui	Momthon Bande Jirugui
17	19	Ap kubi Sogui	Are Makgui
18	20	Ap kubi Sogui	Momthon Bande Jirugui- KIAP

Fuente: TAEGEUK IL CHANG Recuperado de: (JIMDO, 2011)

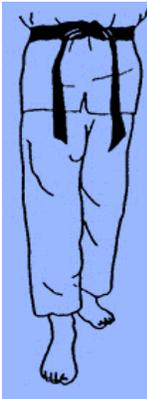
2.1.3. Errores de posturas.

Durante la ejecución de los diferentes movimientos que conforman un Poomsae se debe seguir un orden de ejecución para cada postura, ya que cada postura implica una serie de desplazamientos y rotaciones, a continuación, se señala los errores que se comenten en la ejecución de posturas, ver tabla 2.

Tabla 3

Errores en la ejecución de posturas.

Postura	Errores Leves	Errores Medios	Errores Graves
Olgul Makgui 	<p>Ejecutar el movimiento técnico con la vista hacia abajo.</p> <p>Puño entreabierto en la ejecución del bloqueo.</p> <p>Levantar hacia adelante el hombro contrario a la acción de bloqueo.</p> <p>Falta de rapidez al ejecutar el bloqueo.</p>	<p>Levantar el puño hacia arriba o inclinarlo hacia abajo en relación con la línea recta del antebrazo.</p> <p>No ejecutar el movimiento por el centro del cuerpo hasta la cabeza.</p> <p>Colocar el antebrazo del bloqueo por encima y por detrás de la vista.</p>	<p>No realizar la rotación del antebrazo durante la acción de bloqueo.</p> <p>Extensión total de antebrazo.</p> <p>Brazo de bloqueo no sobrepasa el ancho de la cabeza.</p>
Momthon An Makgui 	<p>Puño entreabierto durante la ejecución del bloqueo.</p> <p>Colocar los puños por encima de la oreja en la posición inicial.</p> <p>Falta de rapidez al ejecutar el bloqueo.</p>	<p>No colocar el puño en línea con el antebrazo durante la acción de bloqueo.</p> <p>Dejar el puño por debajo del hombro luego de ejecutar la técnica.</p> <p>Empujar el antebrazo hacia arriba, en vez de</p>	<p>No realizar la rotación del antebrazo durante la acción de bloqueo.</p> <p>No llevar el antebrazo hasta el centro del cuerpo durante la acción de bloqueo.</p> <p>Realizar el bloqueo con una flexión mayor o menor a 90° grados aproximados en la articulación del codo.</p>

	Ejecutar el movimiento técnico con la vista hacia abajo.	hacia adentro en el bloqueo.	Ejecutar el movimiento técnico quedando el codo hacia adentro y el puño hacia afuera.
Are Makgui 	<p>Recostar el puño en el hombro durante la fase inicial.</p> <p>Dejar el puño semiabierto durante la ejecución del bloqueo.</p> <p>Realizar el bloqueo con poca rapidez</p>	<p>No realizar la rotación hacia afuera en la acción de bloquear.</p> <p>No colocar el puño en línea con el antebrazo durante la acción de bloquear.</p> <p>Sacar excesivamente el brazo fuera de la zona del tronco.</p>	<p>No realizar la acción por el centro del cuerpo.</p> <p>Bajar el tronco durante la ejecución del bloqueo</p>
Ap Sogui 	<p>Bajar la cabeza en la postura.</p> <p>Encorvar los hombros en la postura.</p> <p>Desviar ligeramente el pie atrasado hacia afuera con respecto a la dirección frontal.</p>	<p>Dejar uno de los pies sin apoyarlo completamente en el suelo.</p> <p>Bascular visiblemente la pelvis hacia adelante o hacia atrás en la postura.</p> <p>Flexionar visiblemente el pie adelantado.</p>	<p>Flexionar ambos pies en la posición.</p> <p>No mantener la distancia del paso natural.</p> <p>Colocar los pies en una misma línea.</p> <p>Torcer el tronco con respecto a su posición frontal.</p>
Ap kubi Sogui 	<p>Bajar la cabeza en la postura.</p> <p>Encorvar los hombros en la postura.</p> <p>Desviar ligeramente el pie adelantado de la línea recta en la dirección frontal.</p>	<p>Dejar uno de los pies sin apoyar completamente en el suelo.</p> <p>Inclinar visiblemente el tronco hacia adelante o hacia atrás.</p> <p>Torcer el tronco de su posición frontal.</p> <p>Colocar visiblemente el pie atrasado más allá de un ángulo de 45°</p>	<p>Flexionar visiblemente la pierna atrasada.</p> <p>Bascular la pelvis hacia atrás en la postura.</p> <p>No mantener la amplitud del paso establecida para la posición.</p> <p>Colocar los pies en una misma línea.</p> <p>No flexionar la pierna adelantada.</p>

		grados con respecto al pie adelantado.	Flexionar visiblemente la pierna atrasada.
<p>Momthon Jireugi</p> 	<p>Dejar el puño medio abierto durante la ejecución del Jirugui</p> <p>Realizar el golpeo con falta de rapidez.</p>	<p>Elevar los hombros durante la realización de la técnica.</p> <p>No realizar la extensión abrupta de la técnica en el momento del golpe.</p> <p>Inclinar visiblemente el tronco o la cabeza hacia adelante durante la realización de la técnica.</p>	<p>No realizar la rotación durante la extensión o la recogida de la técnica.</p> <p>No colocar el puño en línea con el antebrazo, durante la acción de golpear.</p> <p>Sacar el codo por fuera, al inicio o fin de la técnica.</p>
<p>Ap Chagui (patada frontal).</p> 	<p>Patear con la planta del pie.</p> <p>Dejar caer en forma brusca el pie en el suelo después del pateo.</p> <p>Patear sin mirar hacia el lugar que va dirigido el golpeo.</p>	<p>Flexionar la pierna atrás en la salida de la técnica.</p> <p>No extender el empeine para golpear.</p> <p>Flexionar excesivamente el troco hacia adelante o hacia atrás durante la acción técnica.</p> <p>Inclinar la cabeza hacia adelante durante la ejecución técnica.</p>	<p>Perdida del equilibrio durante la ejecución técnica.</p> <p>No realizar la flexión profunda de la pierna, al frente-arriba, en la salida de la técnica.</p> <p>No flexionar la pierna para recoger la técnica.</p> <p>Falta de sincronización entre las fases de la técnica.</p>

Fuente: Metodología integral para el proceso de enseñanza-aprendizaje de la Poomsae Taegeuk en la iniciación del taekwondo. Recuperado de: (Bonilla Valdivieso, 2015)

2.2. Análisis Biomecánico.

La biomecánica es el estudio de los movimientos de los objetos y de las fuerzas que afectan a dichos movimientos. Sus conceptos se fundamentan en las leyes de Newton que son: Principio de Inercia, Principio de masa y Principio de Acción reacción, por lo que biomecánica es el estudio de los efectos de las fuerzas mecánicas en los organismos vivos.

2.2.1. Campo de estudio.

- Cinemática: Parte de la Biomecánica que estudia los movimientos, pero no las causas que lo producen.
- Dinámica: Estudia el movimiento o la falta de éste con relación a las causas que lo inducen.
- Cinética: Estudia las fuerzas que provocan el movimiento.
- Estática: Estudio de las fuerzas que establecen que los cuerpos se mantengan en equilibrio.

2.2.2. Biomecánica deportiva.

La Biomecánica Deportiva es una ciencia que emplea las leyes de la Física al estudio del movimiento humano, lo cual tiene como objetivo el optimizar las habilidades de los deportistas y minimizar las lesiones por la ejecución errónea de un movimiento, ya que mediante el análisis biomecánico se puede optimizar habilidades motrices en beneficio de la técnica deportiva.

2.2.3. Análisis biomecánico en Taekwondo

Dentro del taekwondo se emplea en mayor proporción técnicas de patadas, por tal motivo se han desarrollado diferentes estudios biomecánicos orientados a la patada (Ap Chagui) aplicando técnicas digitales de captura de movimiento. Lo cual permite capturar los movimientos para una posterior evaluación técnica y detección de posibles errores que se estén cometiendo los cuales puedan afectar el rendimiento del deportista, además esta evaluación permite optimizar el desempeño de este.

Actualmente los estudios biomecánicos de movimientos o posturas de taekwondo determinan la velocidad, aceleración y ángulos en las articulaciones, con el objetivo de mejorar el rendimiento y controlar el movimiento para evitar lesiones. Estudios en deportistas de alto rendimiento de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sangolquí Ecuador muestran una velocidad promedio lineal entre $6,6 \text{ m/s}$ y $7,4 \text{ m/s}$ en hombres para patadas frontales, patadas con giro (bandae chagi) y la patada (jonap), dichos resultados fueron calculados en base a la distancia promedio lineal y el tiempo de cada fase.

2.3. Procesamiento de imágenes.

El procesamiento de imágenes tiene como objetivo la manipulación de imágenes mediante software el cual permite el mejoramiento de la calidad de la imagen, corrección y análisis del contenido (García Santillan, 2008).

2.3.1. Imagen

Una imagen se representa por una función en dos dimensiones $f(x, y)$, cuyo valor corresponde a la intensidad de luz en cada punto del espacio de las coordenadas (x, y) . En el caso de una imagen monocromática, al valor de $f(x, y)$ se le denominará nivel de gris en el punto de coordenadas (x, y) . Una imagen puede ser considerada como una señal bidimensional (Sossa Azuela, 2013).

2.3.2. Método de procesamiento de imagen.

La mayoría de los métodos de procesamiento de imágenes están basados en la diferencia de niveles de grises y otros se basan en el proceso de imágenes en color (García Santillan, 2008).

2.3.2.1. Obtención de características del objeto por color.

El objetivo principal es obtener datos importantes en formato RGB de objetos, para crear características que puedan ser utilizadas por otros procesos. Existen diferentes representaciones o modelos de color, sensorial y perceptual (Sossa Azuela, 2013).

- **Modelo Sensorial:** Es el modelo básico que utiliza los colores primarios rojo, verde y azul, está basado en cámaras y receptores de televisión, presentan problemas de ecualización.
- **Modelo Perceptual:** Modelo HSI (Hue, Saturation, Intensity) representa las propiedades perceptuales con las que describimos el color percibido, brillo, tono y saturación, la información del color está separada de la información de intensidad lo cual facilita el procesamiento de la imagen sin alterar su color.

2.3.3. Etapas del procesamiento de imágenes

Existen diferentes etapas para el procesamiento de imágenes las cuales deben ser realizadas en el siguiente orden (Sossa Azuela, 2013):

1. Captura – Diseño de las propiedades de la captura, selección de cámara ubicación.
2. Preprocesamiento – Seleccionar el área de interés, y mejorar detalles de la imagen mediante el aumento del contraste o luminosidad, realce de bordes, reducción de ruido.
3. Segmentación – extraer estructuras de la imagen.
4. Extracción de características – seleccionar y extraer características, que permitan identificar los objetos deseados.
5. Identificación de objetos – Utilizar un modelo de toma de decisión.

2.4. Sistema de Captura de Movimiento.

Un sistema de captura de movimiento se compone de un número determinado de cámaras sincronizadas dependiendo de los requerimientos conjuntamente de una iluminación adecuada, un sistema de adquisición de datos y un computador para la visualización. Existen diferentes empresas que se dedican al desarrollo de sistemas de captura de movimiento mediante cámaras de video, como por ejemplo la empresa Motion Analysis la cual ofrece servicios de análisis de movimientos humano, en la tabla 2 se presenta un resumen de los tipos de sistema de captura de movimiento (Gómez, Anzola, & Barrero, s.f.).

Tabla 4

Tipos de sistemas de captura de movimiento

Características	Sistema Mecánico	Sistema Magnético	Sistema Por Video
Interferencia Eléctrica y metálica.	No	Si	No
Rango.	1,2 km	6 metros	6 metros
Requiere ambientes altamente controlados.	Si	Si	
Ruido a la salida.	No	Si	No
Dificultad para usar	Poca	Poca	Alto
Problemas con múltiples sistemas funcionando simultáneamente	No	Si	Si
Dificultad para calibrar	No	Si	Si
Precio	normal	normal	alto

Fuente: Sistemas de captura de movimiento -EXOCAP, Recuperado de; (Gómez, Anzola, & Barrero, s.f.)

2.5. Estudio de Kinect

Kinect es un sensor 3D de bajo costo que fue desarrollado por Microsoft en el año 2010, para la consola XBOX 360 que permite al jugador usar su cuerpo como control de juego. Kinect está constituido por una cámara RGB asociada a un transmisor y receptor de infrarrojos, y un arreglo de micrófonos, permite el reconocimiento por voz y reconocimiento facial. Actualmente existe una versión mejorada de Kinect que es Kinect para XBOX One el cual permite el rastreo de

6 esqueletos completos, hasta 25 joints (puntos de esquematización del cuerpo) a diferencia de su antecesor que permite 20 joints.

2.5.1. Software de Kinect

Los principales controladores utilizados en aplicaciones para Kinect están disponibles en los siguientes proyectos: OpenNI, OpenKinect y Microsoft Kinect para Windows. Algunas de las librerías que utilizan estos proyectos son: OpenCV, Unity3D, PCL, RGBDemo, Openframeworks, etc.

- OpenKinect es un proyecto de software libre, con el objetivo de hacer uso del hardware de Xbox Kinect con los ordenadores y otros dispositivos, OpenKinect está disponible bajo una licencia de Apache2 o GPL2.
- Microsoft Kinect para Windows: El Kinect para Windows SDK permite el reconocimiento de esqueleto sentado, seguimiento de esqueletos, seguimiento facial y reconocimiento de VOZ.
- OpenNI (Open Natural Interaction): es un framework open-source, multiplataforma que define una API para escribir aplicaciones utilizando la Interacción Natural. OpenNI permite a sus usuarios obtener información exacta de la posición de las articulaciones de los usuarios, lo cual permite el desarrollo de aplicaciones interactivas

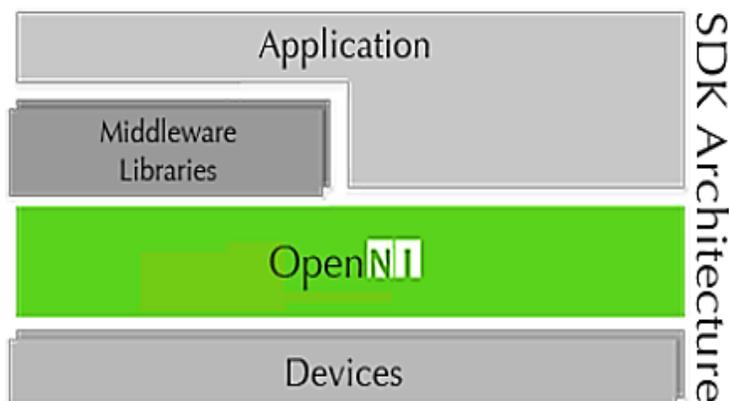


Figura 2. Estructura del entorno OpenNi

Fuente: OpenNi Recuperado de: <http://openni.ru/>

2.5.2. Hardware de Kinect

Las partes principales por las que está constituido el sensor Kinect son: cámara RGB, cámara de infrarrojos, un arreglo de 4 micrófonos.

- Cámara RGB, es una cámara VGA de 640x480 píxeles, permite ubicar objetos en el plano “XY”, la cámara trabaja en conjunto con el sensor de profundidad, el rebote del haz de laser en el Kinect permite la obtención de un campo de profundidad (Z-range), cada pixel de la imagen contiene la distancia cartesiana en milímetros desde el plano de la cámara al objeto más cercano.
- Cámara y proyector de Infrarrojos, permiten crear un mapa tridimensional, el proyector de infrarrojos emite miles de puntos de luz infrarroja a una longitud de

onda de 830[nm], mediante el microchip PrimeSense PS1080 recupera la imagen de profundidad y la combina con la imagen RGB, para interpretar el movimiento.

- Sensor de profundidad este sensor se basa en una combinación de sensor CMOS monocromo con un proyector de infrarrojos.

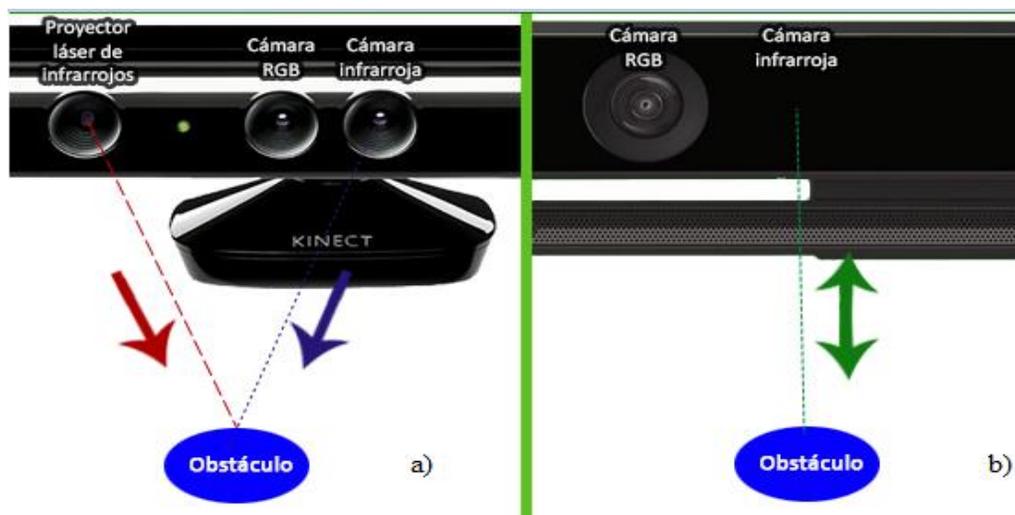


Figura 3: Kinect para Xbox 360 vs Kinect Xbox One a) Kinect v1, cámara RGB, infrarrojo b) Kinect v2 cámara RGB, infrarroja.

Fuente: (iFixit, s.f.)

- Arreglo de Micrófonos, el Kinect posee 4 micrófonos, ubicados de forma que sean capaces de localizar la fuente de sonido. El Kinect tiene la capacidad de diseccionar cada uno de sus micrófonos para escuchar a la persona detectada por el sensor.

A continuación, en la Tabla 5 se presenta una comparativa entre Kinect v1 y Kinect v2, señalando las principales características de los dispositivos.

Tabla 5

Comparativa de Kinect v1 vs Kinect v2

Sensor	Kinect v1 (Xbox 360)	Kinect v2 (Xbox One)
Características		
Video	640 x 480 @ 30 fps	1920 x 1080@ 30 fps Full High Definition
Profundidad	320×240, 640×480 Distancias 0.8 a 4 metros en modo default.	512×424 Distancias 0.5 a 4.5 metros
Rastreo del cuerpo	2 usuarios 20 puntos por cada uno.	6 usuarios 25 puntos por cada uno.
Ángulos de visión	57° horizontal, 43° vertical	70° horizontal, 60° vertical
Latencia	102 ms	20 ms
Distancia mínima de uso	1.82 metros	1.37 metros
Sistema operativo	Windows Linux Mac OS	Windows Linux Mac OS
Conexión	USB 2.0	USB 3.0

Sensores	RGB, IR, Depth, arreglo de 4 micrófonos	RGB, IR, Depth, arreglo de 4 micrófonos
Precio	150 dólares	150 dólares

Fuente: Elaborado por el autor.

2.5.3. Aplicaciones

Kinect fue diseñado como controlador para los juegos de Xbox 360, pero existen otras aplicabilidades tales como: control de robots, entretenimiento, y en la industria de la salud, en el campo de la educación, en control autónomo de vehículos y marketing. Actualmente existe Kinect para Xbox One el cual permite una mejor resolución de imagen y posibilita el desarrollo de aplicaciones de mayor precisión en el censado de datos.

2.5.4. Limitaciones

Actualmente se realizan varias investigaciones de las aplicabilidades del sensor Kinect y la mayor limitante de dicho sensor es la precisión de este, ya que al existir objetos que interfieran con el objeto a capturar no se tendrá datos de profundidad, ya que los obstáculos harán sombra al objetivo.

Otra limitante del sensor Kinect es la interferencia de la luz solar, ya que perturba las lecturas del sensor por lo que no se puede usar en ambientes donde exista exposición a la luz solar.

2.6. Norma IEEE 29148.

La norma IEEE 29148 señala los procesos para la identificación de requerimientos en sistemas y productos de software, especifica el contenido requerido de los elementos de información necesarios y da pautas para el formato de los elementos de información requeridos y relacionados. Por tal razón se aplicará esta norma en el desarrollo del presente proyecto.

La norma IEEE 29148 es el resultado de la unión de los siguientes estándares: ISO/IEC 12207:2008, ISO/IEC 15288:2008, ISO/IEC/IEEE 15289:2011, ISO/IEC TR 19759, IEEE Std 830, IEEE Std 1233, IEEE Std 1362, ISO/IEC TR 24748-1, e ISO/IEC/IEEE 24765.

2.7. Metodologías de desarrollo de Software.

Una metodología de desarrollo de software es el proceso que se realizará a lo largo del desarrollo del software, consiste en cumplir de forma ordenada los pasos planteados para llevar a cabo el proceso, de creación del sistema. A continuación, se detalla las principales metodologías de desarrollo de Software.

2.7.1. Modelo en V o de cuatro niveles.

El Modelo V provee un marco de desarrollo estructurado, enfatizando la calidad de la construcción de los sistemas desde el inicio hasta el final de las etapas de testing. El modelo representa, en forma de V, las relaciones temporales entre las distintas fases del ciclo de desarrollo de un proyecto.

Parte izquierda de la v.

Corriente de especificaciones.

- Especificaciones de requerimiento del usuario.
- Especificaciones funcionales.
- Especificaciones de diseño.

Parte derecha de la v.

Corriente de pruebas.

- Calificación de Instalación.
- Calificación Operacional.
- Calificación de rendimiento.

2.7.1.1. Etapas de la metodología.

- Análisis Funcional.
- Priorización.
- Diseño funcional.
- Diseño técnico.
- Construcción y testeo unitario.
- Testeo funcional e integral.
- Testeo de aceptación del usuario.
- Implementación.

2.7.2. Modelo en cascada.

Esta metodología consiste en ordenar las etapas del proceso para el desarrollo de software, para iniciar una etapa se debe finalizar la anterior. A continuación, se indica las fases del modelo.

- Análisis de requerimientos.
- Diseño de sistema.
- Diseño de programa.
- Modificación.
- Ejecución de pruebas.
- Codificación.
- Mantenimiento.

2.7.3. Modelo espiral.

Es un modelo evolutivo, se desarrolla en una serie de versiones incrementales, puede adaptarse a lo largo de la vida del software, utiliza la construcción de prototipos como mecanismos de reducción de riesgos.

Tareas del modelo:

- Comunicación con el cliente.
- Planificación.
- Análisis de riesgos.
- Ingeniería.

- Construcción y acción.
- Evaluación del cliente.

Capítulo 3. Diseño

En este capítulo se presenta la descripción general del sistema y el desarrollo de este dónde se detalla la situación actual del club de Taekwondo de la UTN en relación con la práctica de Poomsae Taegeuk 1, seguido de un análisis de requerimientos del sistema, para determinar el software y hardware idóneo a utilizarse para el desarrollo del proyecto, conjuntamente se detallará el diseño del sistema para captura de posturas básicas de Poomsae.

3.1. Descripción general del sistema.

En este apartado se definirá el propósito, alcance y limitaciones del sistema, en base a la problemática propuesta.

3.1.1. Propósito.

El desarrollo de un sistema de captura de movimiento a escala de laboratorio para asistir el entrenamiento del club de Taekwondo de la Universidad Técnica del Norte, el cual tendrá la función de evaluar las posturas básicas que conforman un Poomsae Taegeuk 1, con la finalidad de que el deportista pueda visualizar que errores cometió en una determinada postura.

3.1.2. Alcance del sistema.

El sistema evaluará las posturas básicas de Poomsae Taegeuk 1 las cuales se definirán más adelante, para la captura de movimiento se utilizará el dispositivo Kinect conectado a un ordenador, el sistema contará con una interfaz gráfica la cual permitirá la visualización de las opciones de entrenamiento que presenta el mismo, la postura a realizar y evaluación de esta.

3.1.3. Limitaciones del sistema.

El sistema evaluará de forma individual al estudiante en la práctica de las posturas básicas de Poomsae Taegeuk 1, por lo cual se debe realizar varias pruebas para garantizar el correcto funcionamiento de este. El uso del sistema no garantiza la mejora del rendimiento del deportista, únicamente se limita a brindar una evaluación estimada de la postura seleccionada al momento de realizar el entrenamiento.

3.2. Desarrollo del sistema de captura de movimiento.

Para el desarrollo del sistema, se ha considerado aplicar la metodología de modelo en V o de cuatro niveles, el modelo representa en forma de V las distintas fases del ciclo de desarrollo del proyecto, lo cual permite verificar el proceso del trabajo con un control de calidad en cada etapa, además este modelo se enfoca a la relación iterativa entre las distintas fases en el proceso de desarrollo de software considerando la interacción de los requerimientos de usuario y funcionales. La figura 4 muestra la estructura general del modelo.

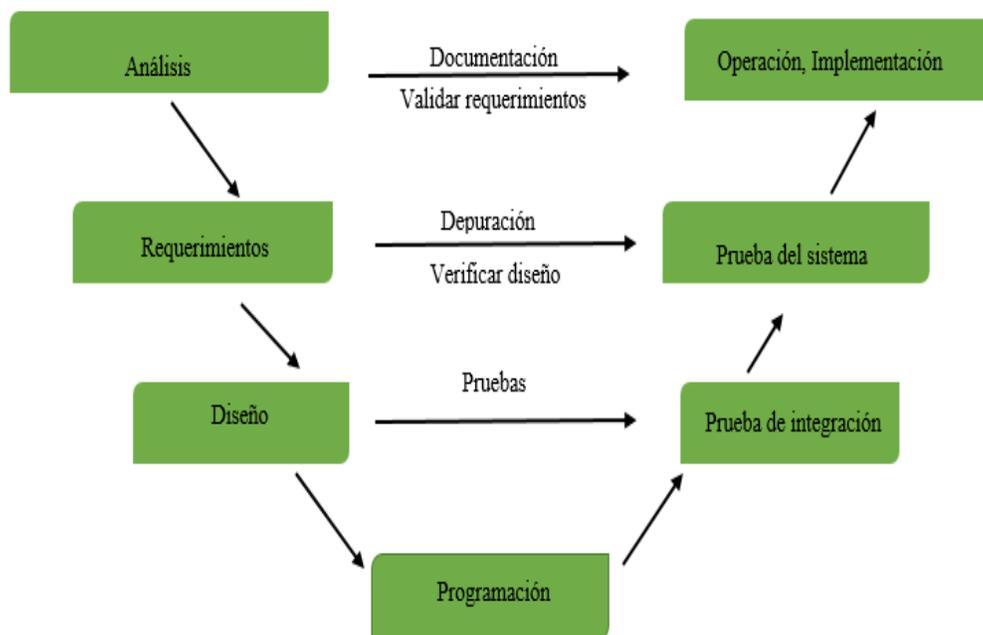


Figura 4. Modelo de desarrollo.

Fuente: Elaborado por el autor

3.3. Análisis

El proceso de análisis permitirá definir los requerimientos del sistema, de esta manera se definirá los requisitos de hardware y software. Para el análisis se considera la situación actual y una encuesta dirigida a un determinado grupo de integrantes del club de Taekwondo de la Universidad Técnica del Norte, para la recolección de información.

3.3.1. Situación Actual.

La Universidad Técnica del Norte se ubica en la zona norte del Ecuador en la Provincia de Imbabura, ciudad Ibarra, ciudadela universitaria barrio “El Olivo” Avenida 17 de Julio 5-21,

actualmente la Universidad Técnica del Norte cuenta con diferentes clubes deportivos, entre ellos el club de Taekwondo, el cual acoge un gran número de participantes entre ellos estudiantes, docentes y particulares, el club consta de 60 integrantes de los cuales son 30 universitarios y 30 vinculados.

El club de Taekwondo de la UTN ha logrado destacarse a nivel local, regional, nacional e internacional, dicho club está a cargo de la Lic. Vanessa Méndez cinturón negro 2do Dan, la cual se encarga de preparar a los deportistas en el arte marcial “Taekwondo” promoviendo la disciplina y fortaleciendo los valores morales y éticos de todos aquellos que integran el club de Taekwondo de la UTN. Actualmente el club cuenta con un área de entrenamiento de 9 x 22 m².

El Taekwondo es un arte marcial y a su vez un deporte olímpico que se fundamenta en la disciplina, en Taekwondo existen bloques de movimientos lo que se conoce como Poomsae, el Kyorugi (combate) es una aplicación práctica del Poomsae, el mejoramiento de la técnica de Poomsae permite al aprendiz mejorar la técnica de combate para lo cual es importante mantener la coordinación de los movimientos, además la práctica de posturas de defensa colabora con el mejoramiento de la destreza motriz (Park, Park, & Jon, 2009).

La Poomsae Taegeuk 1 se compone de una serie de combinaciones técnicas, las cuales se ejecutan como una única acción. El practicante debe finalizar la acción en el mismo punto donde está se inició, el final de cada acción coincide con el inicio de la otra, por dicha razón la enseñanza de las Poomsae Taegeuk debe evaluarse paso a paso, en dicha evaluación se califica la técnica la cual se compone del ritmo fuerza y coordinación con la que se ejecuta la acción. La ejecución

repetitiva de cada postura beneficia a los deportistas al perfeccionar la coordinación bilateral de piernas y brazos.

El entrenamiento es un proceso que ayuda a los deportistas en el desarrollo integral aumentando su capacidad de resistencia física y elevando la probabilidad de obtener mejores resultados en una competencia. Los deportistas del club de Taekwondo de la UTN entrenan un periodo de 60 minutos diarios en un promedio de tres días a la semana, dependiendo de sus necesidades, ya que no todos los integrantes se encuentran en un mismo nivel físico además existen pruebas de ascenso de cinturón lo cual diferencia uno de otro dentro del club. Por tal razón se ha considerado plantear una encuesta a los miembros del club de la UTN que son parte del grupo de universitarios con el objetivo de dar a conocer el sistema y recolectar información que aporte al desarrollo de este, obteniendo así los diferentes puntos de vista de los deportistas.

3.3.2. Encuesta.

Se realizará una encuesta con el objetivo de recopilar información necesaria para determinar los requerimientos del usuario, para este proceso se considera únicamente la población universitaria. A continuación, se indica el modelo de encuesta la cual se conforma por 9 preguntas en su mayoría cerradas la temática está orientada a la práctica de Poomsae Taegeuk 1.

Universidad Técnica Del Norte
Facultad De Ingeniería En Ciencias Aplicadas
Carrera De Ingeniería En Electrónica Y Redes De Comunicación
RECOPIACIÓN DE DATOS PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE CAPTURA DE
MOVIMIENTO

Entrevista dirigida a deportistas de grado medio a superior del club de taekwondo, con el objetivo de recopilar información para el diseño de un sistema de captura de movimiento.

Datos Generales

Nombre del Entrevistado(a): *Cinturón:*

1. ¿Qué tiempo lleva entrenando Taekwondo?.....
 2. Indique que posturas de Poomsae Taegeuk 1 considera básicas.
() Are Makgui. () Ap chagui. () Ap Sogui. () Ap Kubi.
() Momthon Makgui. () Momthon baro jirigi. () Olgul Makgui.
 3. ¿Señale que grado de dificultad ha tenido en el proceso de aprendizaje de Poomsae Taegeuk 1?
() Alto. () Medio. () Bajo.
 4. ¿Emplea dispositivos tecnológicos como complemento para evaluar su entrenamiento?
SI NO
- En caso de ser afirmativa su respuesta señale que tipo de dispositivos
.....
5. ¿Usted utilizaría un sistema de captura de movimiento en su entrenamiento, para identificar errores de postura?
SI NO
 6. Según su opinión, la idea de utilizar un sistema de captura de movimiento para identificar errores de postura en el entrenamiento de Poomsae Taegeuk 1 es:
() Eficiente. () Muy Buena. () Media. () Regular.
 7. De acuerdo con su criterio un sistema de captura de movimiento debe evaluar:
() Posturas específicas. () Actividades dinámicas.
 8. Señale que aspectos se deberían evaluar en la ejecución de Poomsae Taegeuk 1.
() Coordinación. () Ritmo. () Fuerza.
 9. Según su opinión en que grupo(s) de edad(es) se debería emplear un sistema de captura de movimiento para evaluar las posturas básicas de Poomsae Taegeuk 1.

Para la selección de la muestra se considera el número total de universitarios que conforman el club de Taekwondo de la Universidad Técnica del Norte.

Fórmula:

$$n = \frac{N * Z^2 * \partial^2}{(N - 1) * e^2 + Z^2 * \partial^2}$$

n= Tamaño de la muestra.

N= Tamaño de la población.

∂ = Desviación estándar de la población, en caso de desconocer su valor se utiliza un valor constante de 0,5, la desviación estándar es un índice numérico de la dispersión de la población.

Z= Es el valor obtenido por medio del nivel de confianza, es un valor constante, que si no se tiene su valor se lo toma en relación con el 95% que equivale a 1.96, en relación con el 97,5% equivalente a 2.24 y 99% equivalente a 2,58, valor que queda al criterio del encuestador.

e= Error muestral, es el máximo error permitido se emplea un valor entre el 1%(0,01) y 9% (0,09), el cual depende del criterio del investigador.

N=30

Z=95% 1,96

$$e=0.09 \text{ 9\%}$$

$$\partial=0.5$$

$$n = \frac{30 * 1,96^2 * 0,5^2}{(30 - 1) * 0,09^2 + 1,96^2 * 0,5^2} = 24 \text{ personas}$$

Al realizar los cálculos se obtiene como resultado el número de muestra equivalente a 24 personas los cuales serán encuestados.

3.3.3. Análisis de Encuesta.

Se realizó una encuesta a 24 integrantes del club de Taekwondo de la Universidad Técnica del Norte, de grado medio a superior. En el Anexo D se puede evidenciar el formato de encuesta y los resultados obtenidos.

Pregunta 1 ¿Qué tiempo lleva entrenando Taekwondo?

Se obtuvo como resultado que el 71% de los entrevistados llevan entrenando más de un año, lo cual favorece a la recopilación de datos ya que al tener mayor experiencia conocen los aspectos fundamentales de la práctica de Poomsae Taegeuk1.

Pregunta 2 Indique que posturas de Poomsae Taegeuk 1 considera básicas.

Los resultados obtenidos señalan que las posturas Are Makgui y Ap Chagui, son consideradas posturas básicas, y considerando la experiencia de los entrevistados en el

entrenamiento de Taekwondo se determina que esas posturas son las más relevantes en dicha práctica.

Pregunta 3 ¿Señale que grado de dificultad ha tenido en el proceso de aprendizaje de Poomsae Taegeuk 1?

Se identifica que el 58% de los entrevistados tuvieron alguna dificultad leve en el aprendizaje de Poomsae Taegeuk 1.

Pregunta 4 ¿Emplea dispositivos tecnológicos como complemento para evaluar su entrenamiento?

El 75% de los entrevistados no emplean dispositivos tecnológicos como complemento para evaluar su entrenamiento, el 25% señaló el uso de un computador, celular cámara de video, pulsómetro.

Pregunta 5 ¿Usted utilizaría un sistema de captura de movimiento en su entrenamiento, para identificar errores de postura?

Esta pregunta tuvo una aceptación del 83% ya que los encuestados se interesaron en la idea de un sistema de captura de movimiento para identificar los errores de postura.

Pregunta 6 Según su opinión, la idea de utilizar un sistema de captura de movimiento para identificar errores de postura en el entrenamiento de Poomsae Taegeuk 1 es:

El 63% de los encuestados señalaron como muy buena la idea de un sistema de captura de movimiento y el 29% como eficiente, ya que para ellos sería de gran ayuda identificar los errores de postura. Lo cual indica que el sistema si tendrá acogida por parte de los integrantes del club de Taekwondo.

Pregunta 7 De acuerdo con su criterio un sistema de captura de movimiento debe evaluar:

Se observo que el 74% de los entrevistados prefieren un sistema que evalúe posturas específicas. Por lo cual se debería establecer un sistema de captura de movimiento para evaluar posturas específicas.

Pregunta 8 Señale que aspectos se deberían evaluar en la ejecución de Poomsae Taegeuk 1.

El 62% de la población señala que se debería evaluar la coordinación frente a un 22% que define el ritmo y una pequeña parte es decir el 16% señala la fuerza, en base a estos resultados se define que el sistema de se debería enfocar la evaluar la coordinación del movimiento.

Pregunta 9 Según su opinión en que grupo(s) de edad(es) se debería emplear un sistema de captura de movimiento para evaluar las posturas básicas de Poomsae Taegeuk 1.

Al ser una pregunta abierta los entrevistados señalaron diferentes grupos de edades, pero se identificó que la mayoría señalo edades superiores a los 10 años.

La encuesta dio como resultado que el sistema de captura de movimiento tiene gran aceptación por parte de los integrantes del club de Taekwondo, además permitió identificar

aspectos necesarios para el desarrollo de este. Los datos recolectados se consideraran en el diseño, por tal razón el sistema de captura de movimiento evaluara las posiciones básicas en la práctica de Poomsae Taegeuk 1 las cuales son Ap Kubi y Ap Sogui, las cuales se complementaran con Are Makgui y Ap Chagui las cuales se consideran como posturas básicas por parte de los usuarios, dichas posturas se evaluara de forma individual ya que los usuarios requieren un sistema que evalúe posturas específicas, en la práctica deportiva existen elementos como ritmo coordinación fuerza los cuales forman la técnica de realización de posturas, pero existe mayor inclinación por parte de los deportistas a la hora de evaluar o mejorar dichos elementos en el caso de la ejecución de Poomsae Taegeuk 1 la población prefirió la coordinación de movimientos. Estos son algunos de los criterios de los usuarios los cuales aportan al desarrollo del sistema tanto en la selección de hardware y software.

3.4. Requerimientos Del Sistema de captura de movimiento

Para la identificación de los requerimientos del sistema se aplicará el estándar IEEE 29148 en base a stakeholders, contemplando las necesidades de los usuarios en base a los datos recolectados de la encuesta y los criterios del autor detallados en la descripción general del sistema, para obtener mejores resultados en la ejecución de este.

3.4.1. Stakeholders.

Stakeholders hace referencia a los involucrados directa o indirectamente en el desarrollo del prototipo, a continuación, en la tabla 6 se señala los stakeholders presentes en el proyecto.

Tabla 6

Stakeholders presentes en el sistema

Stakeholders	
Actor	Función
Miembros del club de Taekwondo UTN	Usuarios a quien va destinado el sistema.
Universidad Técnica del Norte	Entidad de respaldo.
Ing. Jaime Michilena.	Director de Tesis.
Ing. Omar Oña.	Asesor.
Ing. Paúl Rosero.	Asesor.
Srta. Nadia Sánchez.	Desarrollador del proyecto.

Fuente: Elaborado por el autor.

3.4.2. Nomenclatura de los requerimientos a usarse.

Para realizar un mejor manejo de los datos dentro de la definición de requerimientos del sistema de captura de movimiento se establecen las siguientes abreviaturas. Ver tabla 7.

Tabla 7

Abreviaturas de Requerimientos del Sistema de Captura de movimiento.

Requerimiento	Abreviatura
De Stakeholders del Sistema de Captura de movimiento	CSSR
De Sistema de Captura de movimiento	SyCSR
De Arquitectura del Sistema de Captura de movimiento	ACSR

Fuente: Elaborado por el autor.

3.4.3. Requerimientos de Stakeholders.

Para la definición de los requerimientos de Stakeholders se tomó como punto de partida el análisis de resultados obtenidos en la encuesta, alcance del sistema y situación actual, lo cual permitió identificar las necesidades del usuario y los requerimientos operacionales del sistema, considerando que el sistema debe permitir al usuario acceder a las opciones de entrenamiento que ellos elijan. Durante el ejercicio el deportista debe observar su imagen en la pantalla y la indicación gráfica de la postura a realizar, además el usuario debe tener un espacio libre de obstáculos para poder desarrollar su entrenamiento sin ningún inconveniente. A continuación, se presenta en la Tabla 8 los requerimientos de stakeholders.

Tabla 8

Requerimientos de Stakeholders

CSSR					
REQUERIMIENTOS OPERACIONALES					
#	REQUERIMIENTO	PRIORIDAD			RELACIÓN
		Alta	Media	Baja	
CSSR1	Latencia mínima de 20 ms en el envío de datos del sensor de movimiento.	X			
CSSR2	Uso continuo mayor a 30 minutos.		X		
REQUERIMIENTOS DE USUARIOS					
CSSR2	Facilidad de uso para los usuarios.		X		
CSSR2	Visualización gráfica de resultados.		X		
CSSR3	Espacio libre de obstáculos en el área de entrenamiento.	X			

Fuente: Elaborado por el autor.

3.4.4. Requerimientos del sistema.

Los requerimientos del sistema hacen referencia a la funcionalidad con la que debe cumplir el mismo, se ha dividido en tres secciones: Requerimiento de sensor de Movimiento, de interfaz y Ordenador, algunos puntos tendrán relación con los requerimientos de stakeholders antes señalados.

- Sensor de Movimiento: se encarga de monitorear las posturas del usuario, para el entrenamiento.
- Interfaz: permite la visualización de opciones de entrenamiento, usuario, postura a realizar y resultados obtenidos.
- Ordenador: se comunica con el sensor de movimiento y procesa los datos recolectados por el mismo, por lo cual el sistema será accesible mediante un computador con Kinect (sensor de movimiento) conectado.

A continuación, en la tabla 9 se indican los requerimientos del sistema.

Tabla 9

Requerimientos de sistema.

SyCSR					
REQUERIMIENTOS FUNCIONALES					
#	REQUERIMIENTO	PRIORIDAD			RELACIÓN
		Alta	Media	Baja	
REQUERIMIENTO SENSOR DE MOVIMIENTO					
SyCSR1	Captar movimiento de extremidades del cuerpo humano.	X			CSSR3
SyCSR2	Captación del sentido de giro del cuerpo humano.		X		
SyCSR3	Susceptibilidad a variaciones de luz.		X		CSSR3
REQUERIMIENTO DE INTERFAZ					
SyCSR4	Intuitiva para el usuario.		X		CSSR2
SyCSR5	Resolución compatible con el sensor de movimiento.	X			CSSR1
REQUERIMIENTO DE ORDENADOR					
SyCSR6	Procesador 64 bits.	X			CSSR1
SyCSR7	Capacidad de almacenamiento mínimo de 14 GB.	X			CSSR1
SyCSR8	RAM mínimo 4 GB.	X			CSSR1
SyCSR9	Tarjeta gráfica que admita DirectX 11.	X			CSSR1
SyCSR9	Portátil.			X	

Fuente: Elaborado por el autor.

3.4.5. Requerimientos de Arquitectura.

Los requerimientos de arquitectura hacen referencia a cada uno de los componentes del sistema. Dentro de los requerimientos de arquitectura se señalan las necesidades de software y hardware las cuales son en función del sensor de movimiento, como se indica en la Tabla 10 Requerimientos de Arquitectura, ya que estos requerimientos contribuyen a un mejor desarrollo del sistema de captura de movimiento.

Tabla 10

Requerimientos de Arquitectura

ACSR					
REQUERIMIENTOS FUNCIONALES					
#	REQUERIMIENTO	PRIORIDAD			RELACIÓN
		Alta	Media	Baja	
REQUERIMIENTOS DE SOFTWARE					
ACSR1	Librerías compatibles con el sensor de movimiento.	X			
ACSR2	Comunicación fiable con el sensor de movimiento.	X			
ACSR3	Lenguaje de programación estándar.		X		
REQUERIMIENTOS DE HARDWARE					
ACSR4	Capacidad de capturar imágenes en alta resolución (1920 x 1080 píxeles).	X			SyCSR3
ACSR5	Capacidad de capturar imágenes de profundidad.	X			SyCSR1
ACSR6	Esquematización del cuerpo humano.	X			SyCSR1

Fuente: Elaborado por el autor.

3.5. Elección de Hardware y software para el diseño

Para la elección de hardware y software se contemplarán los requerimientos señalados anteriormente con el objetivo de satisfacer las necesidades de los stakeholders y garantizar la eficiencia del sistema. A continuación, se detallan los elementos principales que conforman el sistema de captura de movimiento.

1. Sensor de movimiento que recopile la información del movimiento de las extremidades del cuerpo humano involucradas en la ejecución de la postura de entrenamiento.
2. Computador que se conecta al sensor de movimiento para procesar los datos recibidos del mismo, la comunicación entre el Kinect (sensor de movimiento) y el computador es mediante el puerto USB 3.0.
3. Aplicación que permita gestionar el entrenamiento, y la visualización de datos adquiridos por el sensor de movimiento.

3.5.1. Elección de Hardware.

En dispositivos físicos se seleccionará el sensor de monitoreo que cumpla con los requerimientos antes planteados, mediante la comparación de los sensores que se encuentran actualmente en el mercado.

En la tabla 11 Evaluación de sensor de movimiento, se señala las características principales de los sensores de movimiento, los cuales podrían cumplir con las necesidades del sistema.

Tabla 11

Evaluación de sensor de movimiento

Sensor de movimiento						
Tipo	Requerimiento					Valoración
	SyCSR1	SyCSR3	ACSR4	ACSR5	ACSR6	
Kinect v1	1	0	0	0	1	2
Kinect v2	1	1	1	1	1	5
Cumple “1”						
No cumple “0”						

Fuente: Elaborado por el autor.

Elección: El sensor de movimiento que cumple con el mayor número de requerimientos es Kinect v2.

3.5.2. Elección de Software.

Para la elección del software se consideran los requerimientos antes planteados en la tabla 8 requerimientos de arquitectura, y se realiza en base al sensor de movimiento elegido anteriormente. En la siguiente tabla 12 se presenta una evaluación de los diferentes softwares.

Tabla 12

Evaluación de software

Software de desarrollo				
Tipo	Requerimiento			Valoración
	ACSR3	ACSR2	ACSR3	
Visual Studio	1	1	1	3
NetBeans IDE	0	0	1	1
Processing	0	1	1	2
Cumple “1”				
	No cumple “0”			

Fuente: Elaborado por el autor.

Elección: El software de desarrollo compatible para el sistema de captura de movimiento es el de Visual Studio, ya que cumple con los requerimientos antes señalados.

3.6. Diseño del sistema de captura de movimiento.

Continuando con la metodología planteada del modelo en V se pasa a la etapa de diseño. Para el diseño del sistema se toma en consideración el propósito, alcance y limitaciones del sistema además de los requerimientos antes señalados.

Para el diseño del sistema de captura de movimiento se toma en cuenta las especificaciones técnicas del fabricante del sensor en este caso de XBOX, ya que se utilizará el Kinect v2.

3.6.1. Diagrama de bloques del sistema de captura de movimiento.

El diagrama de bloques del sistema representa de manera gráfica la relación que existen entre los componentes de este y su funcionamiento. A continuación, se muestra en la Figura 5 el diagrama antes mencionado.



Figura 5. Diagrama de bloques del sistema de captura de movimiento.

Fuente: Elaborado por el autor.

Como se muestra en la figura 5 el sistema está constituido por tres bloques interconectados entre sí, a continuación, se detalla el funcionamiento de cada bloque:

Bloque 1. Representa la alimentación eléctrica del Kinect (sensor de movimiento) el cual se conecta al adaptador Kinect que cumple con las funciones de alimentación eléctrica del sensor y la comunicación entre el ordenador y Kinect vía USB mediante el puerto 3.0.

Sensor de movimiento (Kinect v2), capta el usuario que se sitúa frente al Kinect lo cual se logra gracias a la configuración óptica de este que permite el reconocimiento de imágenes y a su vez detecta las articulaciones del cuerpo humano identificando en tiempo real la posición que estas se encuentran en el plano XYZ conociendo así la orientación del cuerpo, dichos datos serán enviados al ordenador para su procesamiento y la creación del esqueleto en movimiento.

Bloque 2. Incluye el ordenador encargado de la recepción y procesamiento de los datos, mediante el software de desarrollo Visual Studio en el cual se desarrolla la aplicación de captura de posturas básicas.

El ordenador cuenta con los paquetes Windows Software Development Kit (SDK) Kinect el cual proporciona herramientas y APIs necesarias para el desarrollo de aplicaciones compatibles con Kinect v2, Visual Studio 2012 y licencias y librerías compatibles para la elaboración del proyecto.

La aplicación consiste en la implementación de un algoritmo de comparación de posturas el cual se desarrolla en una clase (C#) del proyecto Tesis TKD V1.0 desarrollado en Windows Presentation Foundation (WPF), dentro de la clase se desarrollan métodos booleanos los cuales permitirán la detección de una determinada postura para la evaluación de esta. Los resultados de la evaluación se podrán visualizar en una interfaz gráfica.

Bloque 3. Interfaz gráfica permite la visualización de las opciones de entrenamiento, y la presentación de los resultados, esta permite al usuario interactuar con la aplicación.

3.6.2. Diagrama de conexión del sistema de captura de movimiento.

El sistema de captura de movimiento está compuesto por tres elementos: Ordenador, sensor Kinect v2, y adaptador del sensor, los cuales se deben conectar de forma correcta. Por dicha razón más adelante se presentan los diagramas esquemáticos del sensor y adaptador Kinect, en la figura 6 se presenta un diagrama general de conexión lo cual permite la observación de la estructura física del sistema de captura de movimiento.

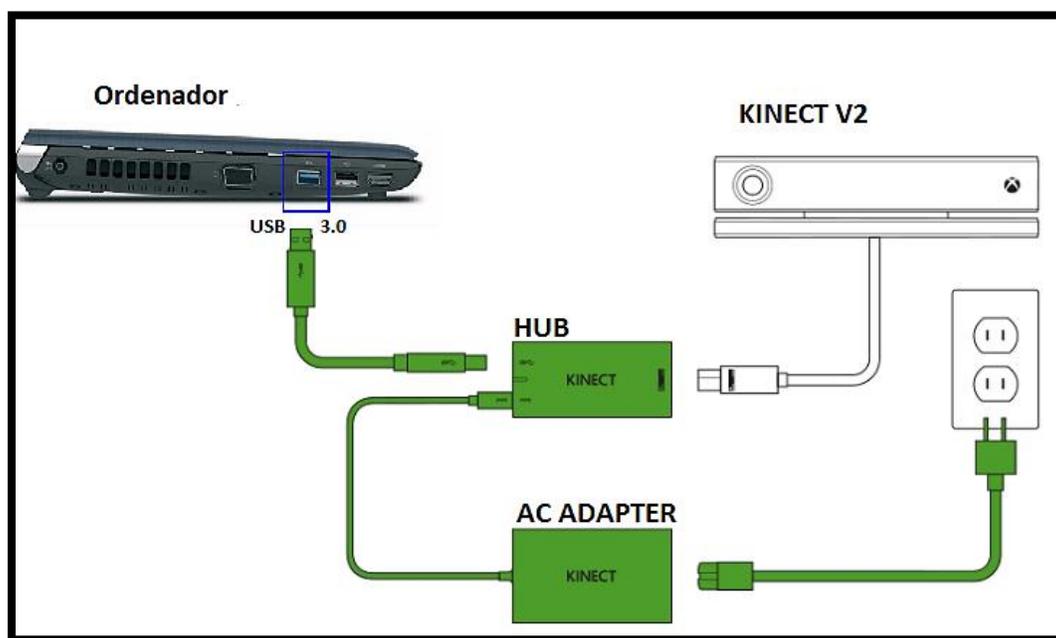


Figura 6. Diagrama de conexión del sistema de captura de movimiento.

Fuente: Elaborado por el autor.

3.6.2.1. Diagrama esquemático sensor Kinect v2.

El sensor Kinect en su parte interior cuenta con dos PCB (Placa de circuito impreso), dentro de las cuales existen diferentes elementos, los cuales se indican a continuación.

- Una cámara RGB de 1080p a 30 FPS, 15 Hz con poca luz.
- Una cámara de infrarrojos 512 x 424 Hz
- Tres infrarrojos de control remoto.
- Un procesador.
- Un LED de encendido.

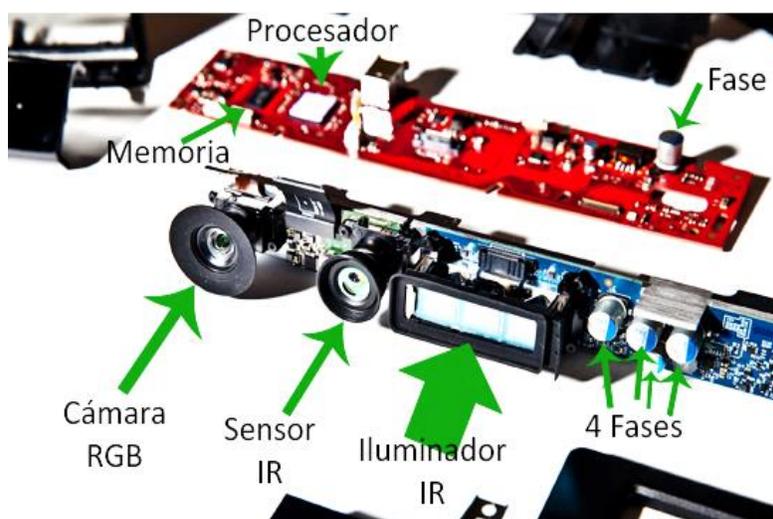


Figura 7. Elementos del sensor Kinect v2.

Fuente: (Palma, 2013) Recuperado de: <http://generacionxbox.com/kinect-para-xbox-one/>

La parte principal de Kinect v2 es el sistema en chip Microsoft X871141-001 (procesador) Soc ver figura 8, para integrar y pre-procesar los datos de los diferentes sensores que componen el dispositivo Kinect, como por ejemplo el sensor infrarrojo el cual está compuesto por una cámara infrarroja CMOS que trabaja conjuntamente con tres emisores IR, la adquisición del valor de intensidad de cada píxel se realiza mediante el principio de tiempo de vuelo (Time of Flight ToF) dicho principio mide el tiempo de retraso desde que la luz deja el emisor hasta que regresa al

sensor, cada pixel en la imagen contiene la distancia cartesiana en milímetros desde el centro del sensor IR en Kinect al objeto más cercano (iFixit, 2013).

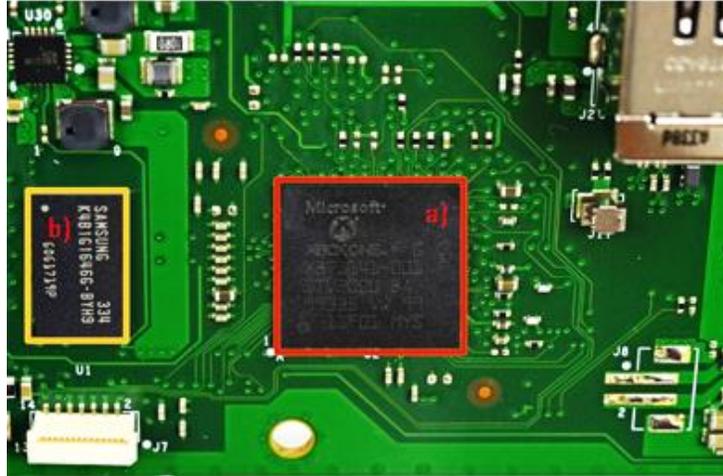


Figura 8. a) Chip Microsoft X871141-001

Fuente: (iFixit, 2013) Recuperado de: <https://www.ifixit.com/Teardown/Xbox+One+Kinect+Teardown/19725>

3.6.2.2. Diagrama de circuito Fuente de alimentación equivalente a la requerida por Kinect v2.

El sensor Kinect trabaja con una alimentación de 12 V y 2.67 A, la alimentación suministrada por el puerto USB es de 5V y 500 mA lo cual no abastece al dispositivo, por tal razón el sensor debe contar con una fuente de alimentación o adaptador que cumpla con las necesidades de este tanto de voltaje y corriente para un correcto funcionamiento. En la figura 9 se presenta el diagrama de una fuente de alimentación 12V equivalente a las necesidades de alimentación eléctrica del sensor Kinect v2.

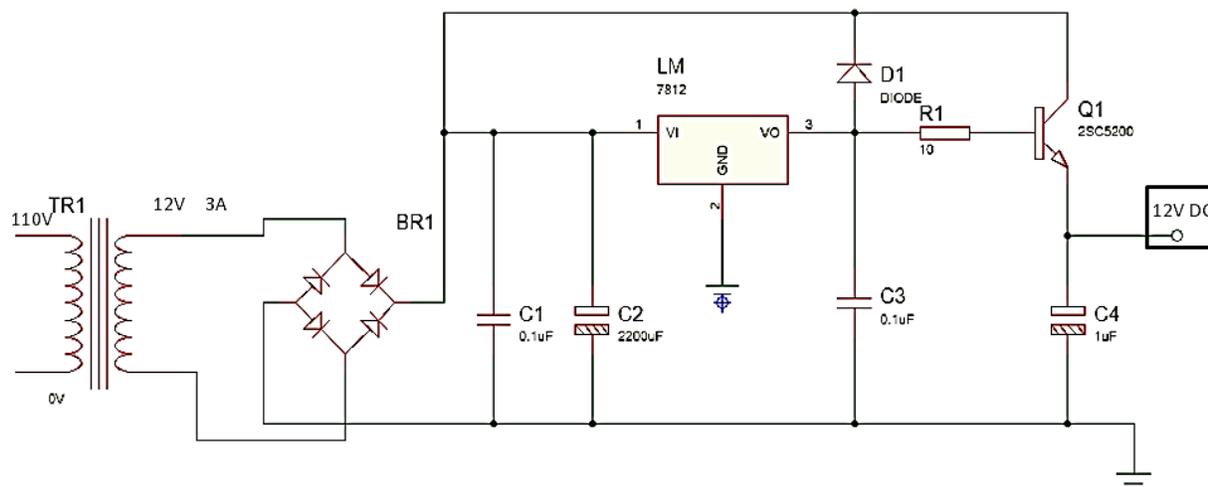


Figura 9. Diagrama fuente de alimentación 12V sensor Kinect.

Fuente: Elaborado por el autor.

La función de la fuente es alimentar al sensor Kinect v2, para el diseño la fuente equivalente se emplea un transformador 12V ~ 3 A, un puente de diodos el cual cumple la función de rectificación de la señal proveniente del transformador, obteniendo así una señal “DC”, a continuación, se tiene la etapa de filtrado a cargo de los capacitores C1 y C2, el diodo D1 se utiliza para evitar que el LM7812 se polarice en inversa.

Tomando en cuenta las especificaciones técnicas del regulador LM7812 que soporta hasta 1 Amperio y considerando que la carga a conectar consume 2.67 A, se coloca un transistor 2SC5200 que pueda soportar más amperios. El condensador C4 se encarga de estabilizar la tensión a la salida. A continuación, se presentan los cálculos realizados para los diferentes elementos electrónicos.

Cálculo del condensador:

Para calcular el valor del condensador de filtrado se emplea la siguiente ecuación:

$$C = \frac{I_{dc}}{2f * V_r} \quad (1)$$

Donde:

C = condensador.

I_{dc} = Corriente directa = 2.67 A

F = frecuencia (60 Hz)

V_r = Voltaje de rizo.

Para calcular el voltaje de rizo se emplea la siguiente formula:

$$V_r = 2(V_{max} - V_{dc}) \quad (2)$$

$$V_{max} = 10 \text{ v} * \sqrt{2} = 14.14 \text{ v} \quad (3)$$

$$V_{dc} = 12 \text{ v}$$

Remplazando los valores de V_{max} y V_{dc} en la ecuación (2):

$$V_r = 2(14.14 \text{ v} - 12 \text{ v}) = 4,28 \text{ v}$$

$$V_r = 4,28 \text{ v}$$

Remplazamos valores en la ecuación 1:

$$C = \frac{I_{dc}}{2f * Vr} = \frac{2,67 A}{2 * 60 Hz * 4,28v} = 519 \mu F$$

El valor del condensador de filtrado deberá ser aproximadamente 519 uF, se recomienda el uso de un condensador de 2200 uF al ser un valor comercial.

En el presente proyecto se utiliza la fuente comercial o adaptador Kinect v2 ya que el sensor cuenta con su adaptador de fábrica.

Para la conexión de Kinect v2 al computador se necesita de la fuente de alimentación (adaptador) y cable de alimentación, cable USB 3.0 y Hub Kinect para Windows. El cable USB 3.0 se conecta un extremo al puerto USB 3.0 del ordenador y el otro extremo al Hub, el adaptador o fuente de alimentación se conecta un extremo al Hub y el otro al toma corriente, el cable de alimentación se conecta al sensor Kinect v2, como se indica en la siguiente figura. Ver figura 10 Conexión Adaptador Kinect v2 a pc.

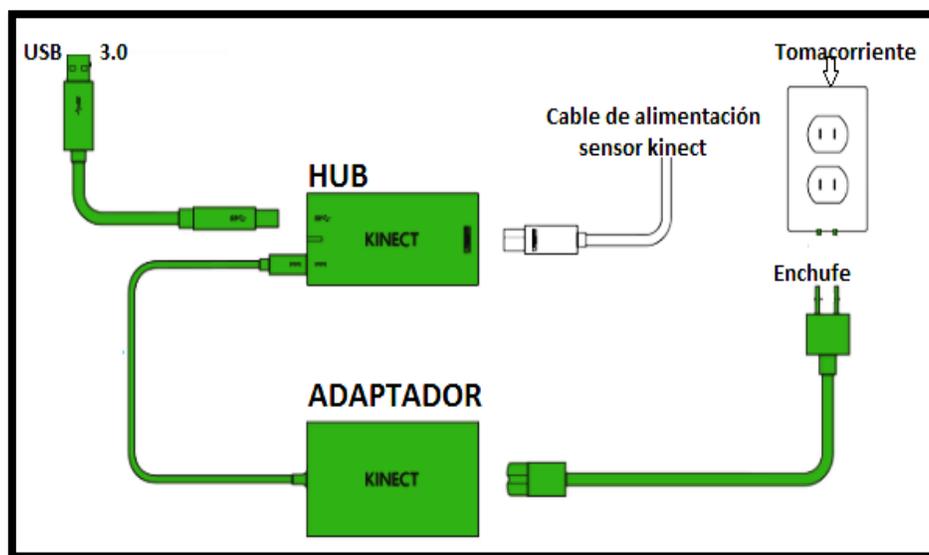


Figura 10. Conexión Adaptador Kinect v2 a pc.

Fuente: Elaborado por el autor.

3.6.3. Segmentación del sistema de captura de movimiento.

El sistema de captura de movimiento cuenta con dos etapas importantes las cuales son: creación de posturas y entrenamiento.

- **Creación de posturas:** en esta etapa se crean las posturas básicas, las cuales forman parte de la aplicación de entrenamiento.
- **Entrenamiento:** esta etapa consiste en el desarrollo de una aplicación que permita la comparación y visualización de la postura a entrenar.

3.6.3.1. Creación de posturas.

La creación de posturas es la etapa inicial del desarrollo del sistema de captura de movimiento para asistir el entrenamiento del club de Taekwondo de la Universidad Técnica, ya que en la misma se desarrollan las posturas que servirán de plantilla en la aplicación de entrenamiento. La creación de posturas se la realiza dentro de la clase IDpostura, la cual forma parte del proyecto Tesis_TKD_V1 desarrollado en Visual Studio 2012 WPF.

A continuación, se describen los términos relevantes empleados en este apartado:

- **Gesto:** Kinect proporciona la posición (X, Y, Z) de las articulaciones o joints del cuerpo humano 30 frames por segundo, el cambio específico de posición de joints en un periodo de tiempo se conoce como gesto (Pterneas, 2014).
- **Consideraciones para la creación de posturas:** La principal limitación de Kinect es que capta de 0.5 a 4.5 metros de profundidad, para captar el cuerpo entero de una persona se

debe colocar aproximadamente 3 metros frente al usuario (Rodríguez, 2013) lo cual limita el entrenamiento de las posturas que requieren desplazamientos, el entrenamiento del Poomsae Taegeuk 1 necesita de un mayor espacio para su realización lo cual es una limitación del dispositivo ya que se sale del ángulo de visión de este al tener que el deportista moverse en diferentes direcciones, para realizar el camino completo del Poomsae es decir seguir las líneas y dirección de los movimientos de Poomsae Taegeuk 1. La velocidad de los giros interfiere en el funcionamiento de la aplicación ya que al regresar al estado inicial Kinect no procesa la nueva postura lo cual afecta la obtención de la nueva ubicación de las articulaciones, es decir no se recuperan los datos de la posición X Y Z de los joints.

La patada Ap chagui al ser una postura poco natural genera conflictos al momento del reconocimiento de las articulaciones por tal razón se descarta esta postura para el entrenamiento además de otras posturas donde el usuario debe estar de espaldas a Kinect, por tal razón para el entrenamiento se selecciona posturas donde el usuario debe ubicarse frente al sensor.

- **Definición de posturas básicas para el entrenamiento:**

En el Capítulo 2 del presente proyecto se mencionó los movimientos que conforman el Poomsae Taegeuk 1, para la selección de las posturas básicas a entrenar se considera la postura final de las técnicas del taekwondo (PUM). Tomando en cuenta las consideraciones para creación de posturas mencionadas anteriormente, se seleccionan las posturas de frente que tienen mayor repetición en el camino del Poomsae Taegeuk 1.

A continuación, se define las posturas básicas para el entrenamiento. Ver tabla 13 Posturas básicas para el entrenamiento.

Tabla 13

Posturas básicas para el entrenamiento

Técnica	PUM	Definición
“Postura final de las técnicas del taekwondo”		
Are Makgui		Defensa a la zona baja.
Momthon Makgui		Defensa a la zona media bloqueando de afuera hacia adentro.

Momthon
Jirugui



Golpe de puño al medio.

Olgul Makgui



Defensa a la zona alta.

Fuente: Elaborado por el autor.

3.6.3.2. Entrenamiento.

En esta etapa se desarrolla una aplicación que permita al estudiante realizar el entrenamiento de las posturas básicas para posteriormente obtener una evaluación de estas, mediante la captura de movimiento cumpliendo así con el objetivo planteado en el proyecto. La aplicación se ha desarrollado en Visual Studio 2012.

La aplicación de entrenamiento “Training TKD UTN” consiste en varias vistas, las cuales se detallan a continuación:

2. Vista Inicio:

Al iniciar la aplicación aparecerá la vista inicio en la cual el usuario tiene la opción de “Inicio” y “Crear usuario” ver figura 11 Vista Inicio. En ID usuario el deportista ingresará su número de cédula el cual le permitirá acceder a la vista Opciones donde podrá elegir la opción de entrenamiento o visualización ver figura 12: Opciones. En caso de no estar registrado el deportista debe crear un nuevo usuario para poder acceder a las opciones antes señaladas.



Figura 11. Vista inicio.

Fuente: Elaborado por el autor.

3. Vista Registro deportistas:

En esta ventana el deportista debe ingresar sus datos personales tales como Nombre, Apellido, Edad, Cinturón, Número de Cédula (ver figura 12), los cuales se almacenarán en la base de datos, y servirán para llevar un registro de los usuarios que acceden a la aplicación. Luego de guardar los datos, la aplicación indicara el ID correspondiente al deportista.



The screenshot shows a web application window titled "Training TKD UTN". The main content area is titled "Datos Personales" and contains the following form fields:

- NOMBRE:**
- APELLIDO:**
- EDAD:**
- CINTURÓN:**
- # CÉDULA:**

Below the fields is a **Guardar** button. In the bottom right corner, there is a watermark that says "Activar Windows" and "Ir a Configuración de PC para activar Windows."

Figura 12. Vista Registro deportistas.

Fuente: Elaborado por el autor.

4. Vista Opciones:

Se presentan dos Opciones Entrenar y Visualización como se indica en la figura 13: Vista Opciones.



Figura 13. Vista Opciones.

Fuente: Elaborado por el autor.

- **Entrenar.**

En esta vista el usuario debe seleccionar que postura desea entrenar, continuación se informa al usuario de la conexión con Kinect e indica cuando empezar a realizar la postura. Durante el entrenamiento se muestra la imagen que capta Kinect con el esqueleto del deportista. La aplicación reconocerá en tiempo real la postura del usuario captada por el dispositivo y comparará con la postura que fue seleccionada para el entrenamiento, en caso de ser afirmativo se evaluará dicha postura al finalizar el entrenamiento.

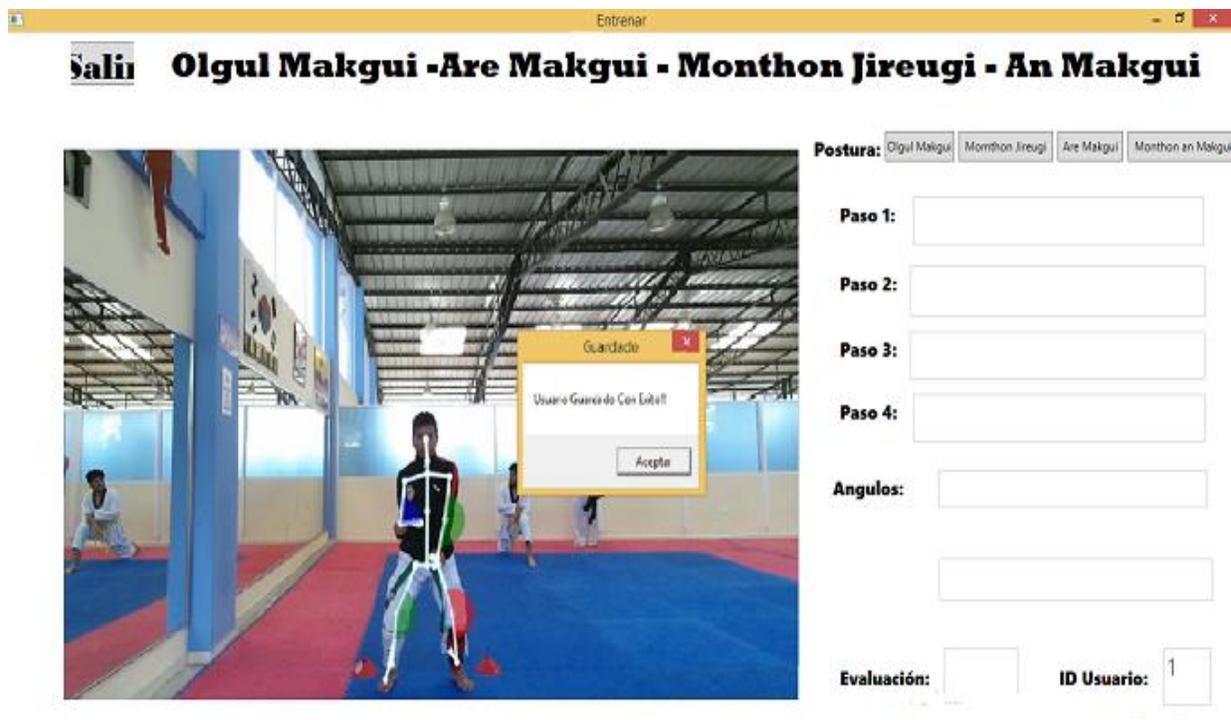


Figura 14. Vista Entrenar.

Fuente: Elaborado por el autor.

- **Visualización.**

Abrirá una vista donde se encuentra la definición de las posturas básicas que se podrán entrenar en la aplicación ver figura 13 Vista Visualización.



Figura 15. Vista Visualización.

Fuente: Elaborado por el autor.

5. Vista Resultados Evaluación:

El deportista deberá ingresar el id usuario, y a continuación dar clic en el botón “VER” para realizar una búsqueda en la base de datos y así obtener los resultados del entrenamiento realizado, esta opción permite al deportista conocer la evaluación anterior de su entrenamiento antes de empezar una nueva sesión.

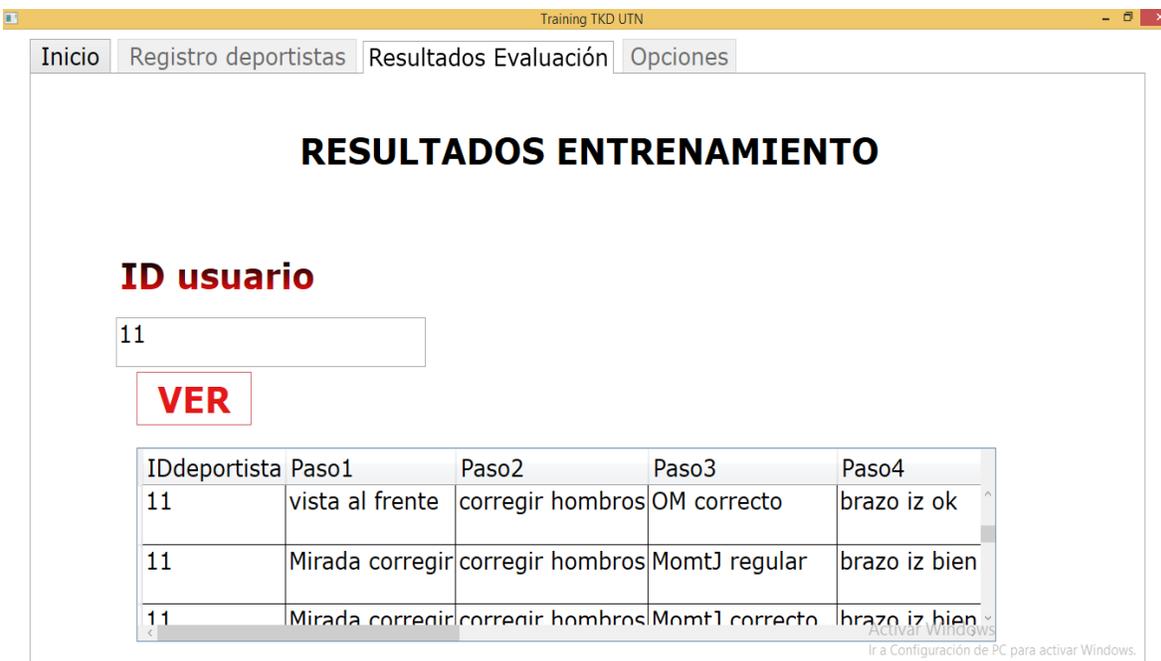


Figura 16. Resultados Evaluación.

Fuente: Elaborado por el autor.

3.6.4 Evaluación de las posturas del deportista.

Este proyecto consiste en la captación de posturas básicas de la Poomsae Taegeuk 1 para una posterior evaluación, en base a un algoritmo el cual permitirá determinar que partes de la postura es incorrecta, el algoritmo a emplear es el algoritmo de comparación de posturas. Para la evaluación se ha dividido la técnica en cuatro partes o pasos.

- **Algoritmo de comparación de posturas.**

El algoritmo de comparación de posturas permite comparar cada una de las articulaciones definidas en el plano XYZ realizando una operación matemática entre los puntos o articulaciones en los ejes X, Y, Z, para la evaluación de posición de los joints se utiliza el SDK de Kinect el cual permite obtener las coordenadas de las articulaciones respecto al sensor como se indica en la Figura 17 Coordenadas de referencia sensor Kinect v2. Dentro

del programa el vector que almacena la posición XYZ de las articulaciones (Ver figura 18), se conoce como position3D.

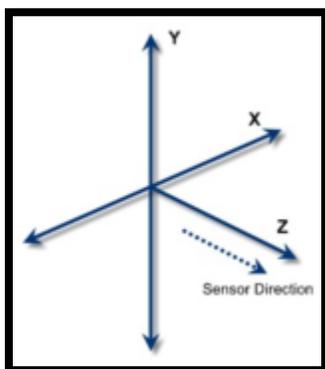


Figura 17. Coordenadas de referencia sensor Kinect v2

Fuente: Elaborado por el autor.

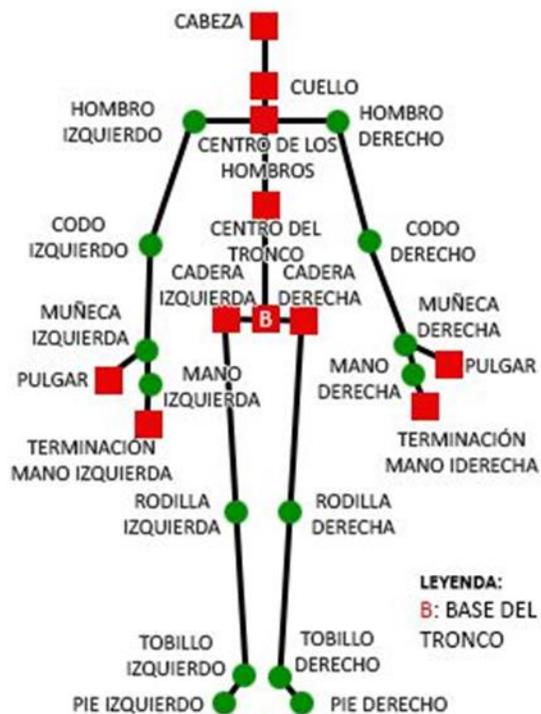


Figura 18. Articulaciones captadas por el sensor Kinect v2

Fuente: (iFixit, s.f.)

Dicho algoritmo se compone con el cálculo de los ángulos principales formados por las articulaciones del cuerpo humano, para una posterior comparación.

- **Cálculo de ángulos.**

Se realiza una comparación entre los ángulos definidos y los calculados, si la comparación de dichos ángulos es correcta se considera el paso como realizado. En esta etapa se calculan dos ángulos. Los cuales se definen a continuación en la tabla 14. Ángulos definidos.

Tabla 14

Ángulos definidos

# Ángulo	Lado inicial	Vértice	Lado final	Definición
Ángulo 1	Hombro derecho	Codo derecho	Muñeca derecha	Es el ángulo formado por los vectores: Shoulder Right, Elbow Right, Wrist Right. Este ángulo se lo emplea en el paso 1 y paso 2.
Ángulo 2	Hombro izquierdo	Codo izquierdo	Muñeca izquierda	Es el ángulo formado por los vectores: Shoulder Left, Elbow Left, Wrist Left. Este ángulo se lo emplea en el paso 1 y paso 2.

Fuente: Elaborado por el autor

3.6.4.1 Pasos de la evaluación de posturas.

En la evaluación de la técnica o PUM (Postura final de las técnicas del taekwondo) se califica sobre 10 puntos, evaluando cuatro pasos, los pasos fueron determinados considerando las

limitaciones del dispositivo, por lo cual se segmenta una postura en cuatro pasos, ya que en la evaluación de las técnicas de defensa se evalúan diferentes aspectos por ejemplo la mirada, la colocación correcta del puño, que los hombros estén paralelos entre otras.

Paso 1: El deportista debe mantener la mirada al frente (1 puntos)

Paso 2: Hombros rectos. (1 puntos)

Paso 3: consiste en la defensa (alta, media, baja) para Olgul Makgui, Momthon Makgui y Are Makgui respectivamente, en el caso de Momthon Jirugui el golpe de puño al medio.

Para el paso 3 se consideran 3 criterios de evaluación:

- Correcto: significa que la técnica fue realizada correctamente dentro de los parámetros establecidos obteniendo una evaluación igual a 6 puntos.
- Aceptable: significa que la técnica realizada coincide con la seleccionada para el entrenamiento, pero no fue realizada con perfección. (4 puntos).
- Regular: significa que se realizó la postura seleccionada a entrenar, pero tiene que mejorar más la técnica. (2 puntos).

Paso 4 se evalúa el brazo de tracción el cual debe colocarse al costado de la cadera izquierda. (2 puntos)

A continuación, se detalla los aspectos importantes de cada postura para su ejecución.

Are Makgui (defensa baja)

Defensa baja, con el brazo derecho se realiza una defensa baja. El brazo derecho debe estar alineado con el costado de la pierna derecha (Paso 3), el brazo de tracción debe colocarse al costado de la cadera izquierda (Paso 4).

- Olgul Makgui (defensa alta)

Defensa alta, coloque el antebrazo derecho levantado al centro de la cara dejando una distancia de un puño vertical (Paso 3), y el otro brazo al costado de la cintura o centro del cuerpo (Paso 4).

- Momthon Makgui.

Defensa a la zona media, con el brazo derecho realizar la acción de bloqueo de afuera hacia adentro el codo debe estar flexionado señalando hacia abajo (Paso 3), y el otro brazo al costado de la cintura o centro del cuerpo (Paso 4).

- Momthon Jireugi (golpe de puño al medio)

Golpe de puño al medio, con el brazo derecho se da un puñetazo, el cual se lo realiza en línea recta al plexo solar (Paso 3). y el otro brazo al costado de la cintura o centro del cuerpo (Paso 4).

3.6.5 Diagrama de flujo del sistema de captura de movimiento.

Continuando con la metodología del modelo en V se realiza el diseño del código fuente o programación, el código de programación se muestra en el Anexo A.

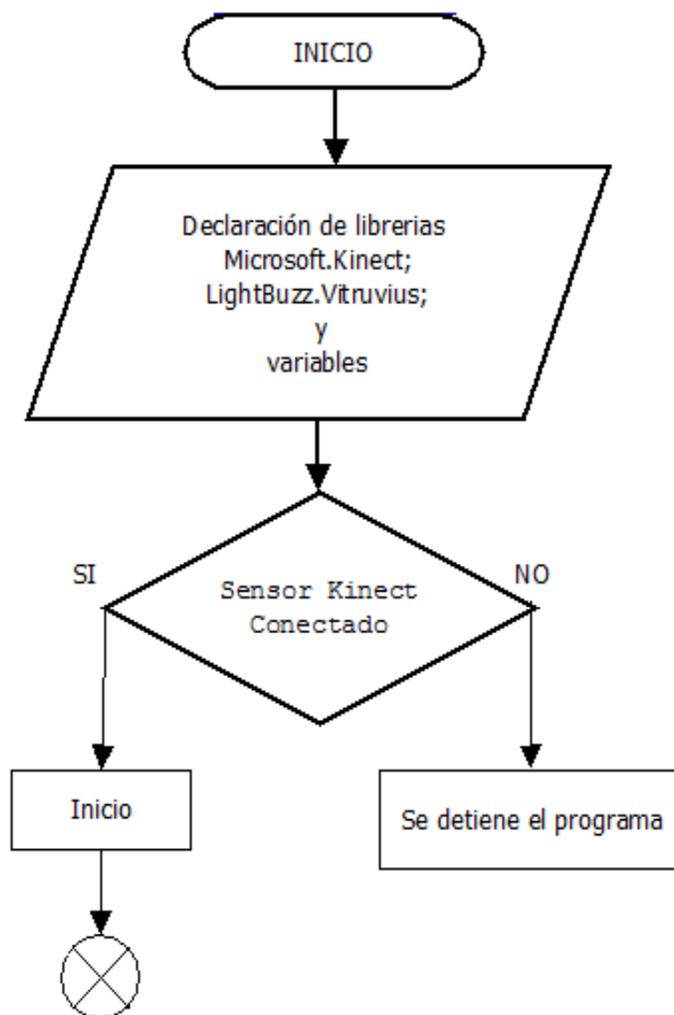


Figura 19. Diagrama de flujo del Programa parte 1
Fuente: Elaborado por el autor.

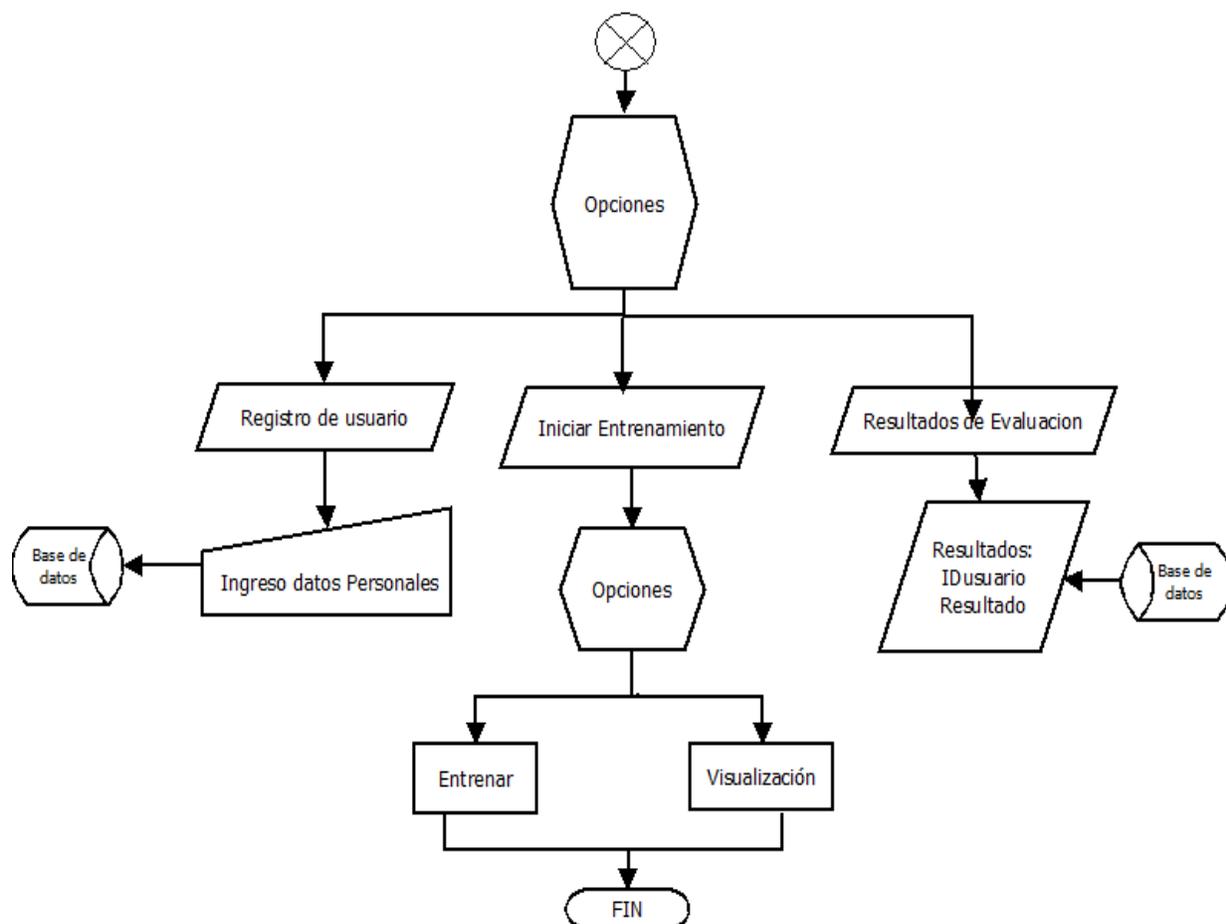


Figura 20. Diagrama de flujo del Programa parte 2
Fuente: Elaborado por el autor.

El código fuente fue desarrollado en Visual Studio 2012 WPF, para el desarrollo de la aplicación de captura de movimiento se utilizaron clases, métodos para la comunicación con el sensor Kinect v2, y librerías tales como Microsoft Kinect, LightBuzz Vitruvius. El código fue diseñado para que el usuario pueda elegir la actividad a realizar, para la representación del esqueleto del cuerpo humano se utiliza la librería LightBuzz Vitruvius.

- Microsoft Kinect proporciona las herramientas necesarias para el desarrollo de aplicaciones compatibles con Kinect.
- LightBuzz Vitruvius es un conjunto de utilidades Kinect entre las principales características está el generador de mapa de bits, captura de mapa de bits, la detección y seguimiento del cuerpo más cercano, visualización del cuerpo, cálculo de ángulos entre joints.

Para el almacenamiento de datos se utiliza el servidor MySQL, dicho servidor requiere de una clase conector la cual se denomina BdComun en el Anexo C se presentan las clases desarrolladas para el almacenamiento de datos. Los datos que se almacenan son el registro de deportistas y los resultados de evaluación.

3.6.5.1. Diagrama de flujo de aplicación entrenar.

En esta opción el sistema reconoce, captura y compara los datos de las articulaciones en coordenadas x y z, definidas para las posturas a entrenar. El dispositivo Kinect captura los valores de las posiciones en las que se encuentran los joints y los almacena en una variable llamada position 3D.

La clase donde se encuentran los métodos para la detección de posturas se denomina “IDpostura”, dentro de esta se llevan a cabo los cálculos empleados para el reconocimiento de postura. Ver Anexo B.

En la figura 21 se puede ver el diagrama de flujo del funcionamiento de la aplicación entrenar.

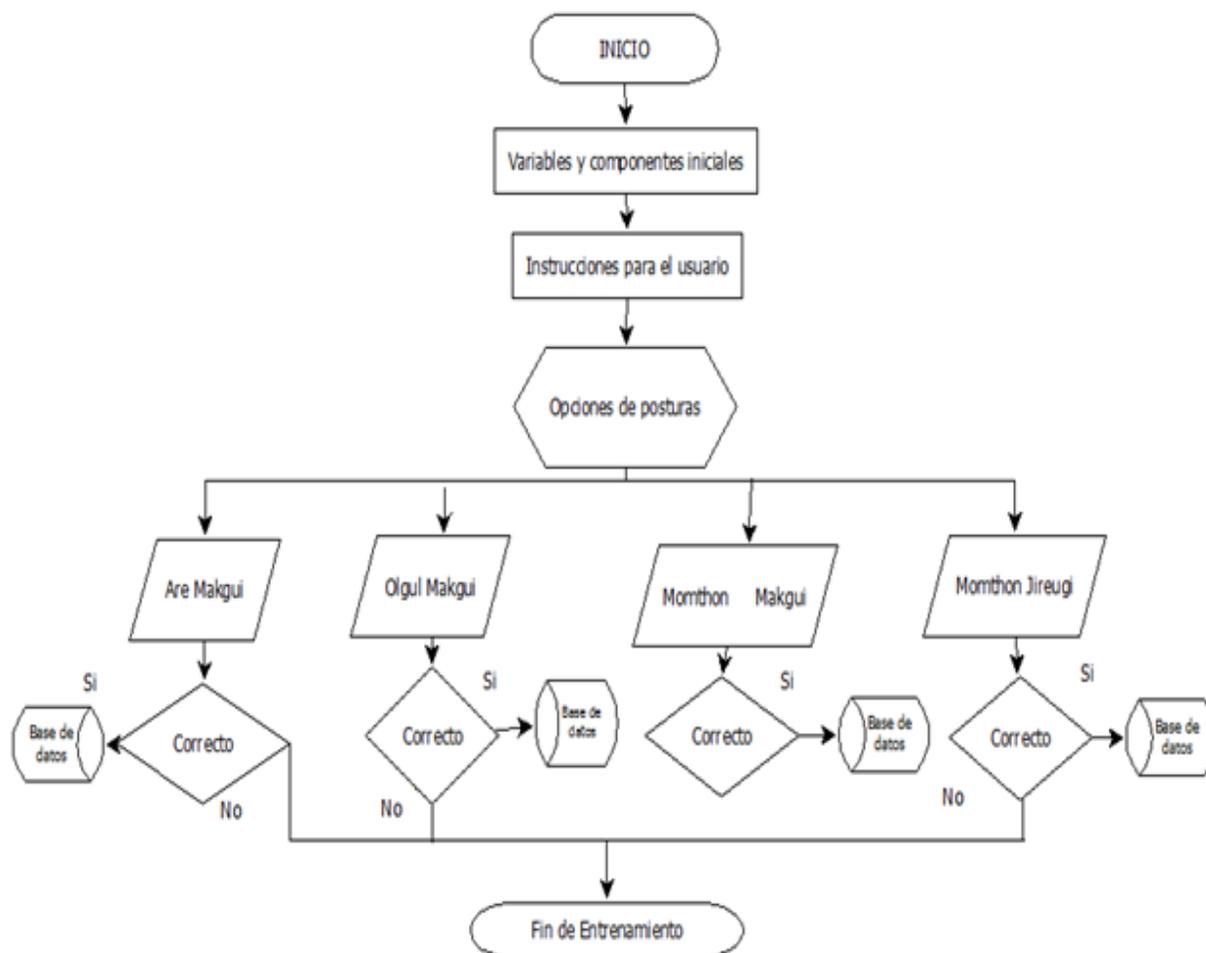


Figura 21. Diagrama de flujo aplicación entrenar
Fuente: Elaborado por el autor.

3.7. Pruebas de integración.

Para el desarrollo de las pruebas de integración se realiza las pruebas de comunicación entre el sensor y el ordenador es decir se verifica la instalación del dispositivo Kinect v2. A partir de eso se verifica la comunicación entre el sensor y el software de desarrollo (aplicación).

3.7.1. Prueba instalación dispositivo Kinect V2.

En primer lugar, se instala el SDK que ofrece Microsoft para el dispositivo Kinect V2. A continuación con la ayuda de la aplicación “Kinect Configuration Verifer” se comprueba la instalación y se verifica el correcto funcionamiento del dispositivo Kinect V2 en el equipo que se conectó.

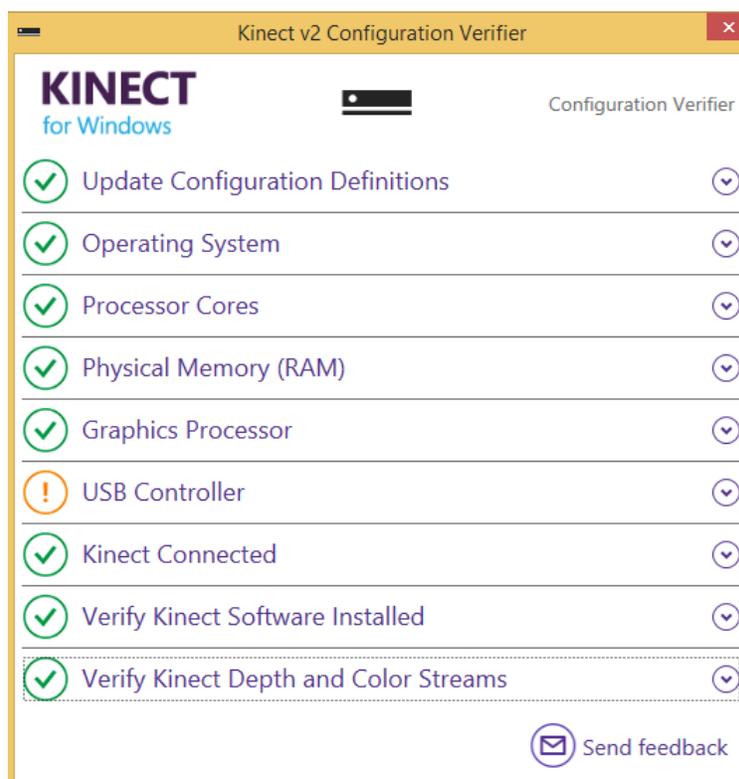


Figura 22. Pantalla Kinect v2 Configuration Verifer
Fuente: Elaborado por el autor.

En la figura 22 se observa el correcto funcionamiento del dispositivo, con una advertencia en USB Controller o conexión USB, esta advertencia se debe a que en algunos casos el hardware del ordenador no llega a cumplir al 100% el estándar 3.0 o los drivers instalados por Windows al

ser genéricos no alcanzan el rendimiento deseado. Tal advertencia no implica problemas para el funcionamiento de la aplicación de captura de movimiento.

3.7.2. Prueba comunicación Kinect v2 aplicación.

Dentro del programa se declara las clases métodos y variables que cumplan con la función de conexión con el dispositivo Kinect. Al iniciar la aplicación de entrenamiento se activa el sensor. Lo cual se verifica al observar en la pantalla de la aplicación la imagen captada por el sensor Kinect v2.



Figura 23. Pantalla aplicación captura de posturas basicas.
Fuente: Elaborado por el autor.

3.7.3. Prueba de ubicación del sensor.

Se realizaron varias pruebas de ubicación, llegando a determinar la ubicación adecuada del sensor, mediante lo cual se determinó que el Kinect v2 debe ajustarse manualmente la inclinación

a 15° , colocarse a una altura de 0.83 m con respecto al piso y a una distancia de 3 metros del deportista como se indica en la figura 24.



Figura 24. Ubicación del sensor Kinect v2.

Fuente: Elaborado por el autor.

3.7.4. Prueba de ángulos detectados por el sensor.

La prueba de ángulos detectados por el sensor se realizó con el objetivo de medir el error que existe entre los ángulos medidos por el dispositivo y los ángulos reales. Para determinar la variación permitida de un ángulo para considerar una postura como correcta o si presenta error leve o medio. En esta prueba se evaluó a 10 personas de diferentes edades y estatura. En la tabla 15. Comparación de ángulos, se detalla la información recolectada.

Tabla 15

Comparación de ángulos

N° Persona	Ángulo medido por el dispositivo	Ángulo medido manualmente	Diferencia
1	97	91	6
2	217	210	7
3	217	222	-5
4	343	337	6
6	102	107	-5
7	105	100	5
8	283	276	7
10	317	311	6
TOTAL			47

Fuente: Elaborado por el autor

Se determino el valor promedio de la diferencia de los ángulos medidos manualmente y los ángulos medidos por el sensor, para obtener un porcentaje que expresa la tasa de error de lectura.

$$P = \frac{S}{N}$$

Donde:

P = Es el promedio de la diferencia entre mediciones.

S = Valor total de la suma de la diferencia de datos.

N = Número de muestras.

$$P = \frac{47}{10} = 4,7$$

En las pruebas realizadas se determinó una variación de $\pm 5^\circ$. Determinando así los ángulos descritos en la tabla 16.

Tabla 16

Ángulos utilizados en el sistema

Posturas	Correcta	Error Leve	Error Medio
Are Makgui	200° - 215°	185° - 200°	Mayor a 215°
Olgul Makgui	100° - 115°	115° - 130°	Mayor 130°
Momthon Makgui	295 ° - 310 °	Menor 295°	Mayor 310°

Fuente: Elaborado por el autor.

Resultados diseño del sistema de captura de movimiento.

- En una primera instancia se optó por la utilización de la clase bones de los programas de ejemplos (demo) de Kinect para la diagramación de las extremidades detectadas por el sensor Kinect, la cual presento problemas de adaptación al cuerpo del usuario ya que se trabajó con la captura de la imagen a color, dicho problema se solucionó al incluir la librería “LightBuzz.Vitruvius”, la cual permitió obtener la imagen a color del deportista con el respectivo esqueleto de las articulaciones detectadas por el dispositivo.

- La ubicación del sensor tanto en distancia al usuario y altura con respecto al piso presentaron algunos inconvenientes en el diseño ya que para detectar completamente el cuerpo humano debe colocarse el deportista a 3m frente al dispositivo y el sensor debe estar a 0.83m de altura con respecto al piso. El problema de altura se solucionó utilizando un trípode para soportar el sensor a la altura determinada, el inconveniente de la distancia fue solucionado ubicando una señal en el piso para que el deportista conozca en donde debe situarse.
- En un inicio se estudió la posibilidad de hacer uso de las herramientas Visual gesture builder, Kinect Studio y las librerías de aprendizaje automático para la detección de posturas lo cual fue descartado, ya que se requiere que los deportistas realicen varias sesiones de entrenamiento frente al dispositivo y por las limitaciones de tiempo no fue posible contar con deportistas de alto nivel o cinturón negro para la creación de posturas. Por tal motivo se aplicó un algoritmo de comparación de posturas para reconocer las posturas básicas de la Poomsae Taegeuk 1 para una posterior evaluación.
- El algoritmo de comparación de posturas reconoce si el deportista realiza la acción planteada para la evaluación, pero en las acciones del paso 3 no permite determinar en qué parte de la postura se cometió un error por lo cual se utilizó en cálculo del ángulo formado por las extremidades superiores (hombro, codo, muñeca) derecha e izquierda.

Capítulo 4. Pruebas de Funcionamiento

En este capítulo se describe los resultados obtenidos al realizar las pruebas de funcionamiento del sistema en el club de Taekwondo de la “Universidad Técnica del Norte”.

4.1. Pruebas del sistema.

Para el desarrollo de pruebas del sistema, se ensayará el sistema de captura de movimiento en el club de Taekwondo de la “Universidad Técnica del Norte”.

4.1.1. Población y muestra para las pruebas del sistema.

La población corresponde al total de opciones de entrenamiento que conforman el sistema, estas opciones son las siguientes.

- Are Makgui.
- Olgul Makgui.
- Momthon Makgui.
- Momthon Jirugui.

Para determinar el tamaño de muestra se aplica la fórmula utilizada en el apartado 3.4.2. (Encuesta).

Formula:

$$n = \frac{N * Z^2 * \partial^2}{(N - 1) * e^2 + Z^2 * \partial^2}$$

Dónde:

Tamaño de la muestra: n

Tamaño de la población: N = 4

Nivel de confianza: Z=95% 1,96

Error muestral: e=0.09 9%

Desviación estándar: $\sigma=0.5$

$$n = \frac{4 * 1,96^2 * 0,5^2}{(4 - 1) * 0,09^2 + 1,96^2 * 0,5^2} = 4 \text{ personas}$$

Al realizar los cálculos se obtiene como resultado el número de muestra equivalente a 4 personas los cuales serán evaluados por el sistema de captura de movimiento.

4.1.2. Prueba de funcionamiento del sistema.

Para la prueba de funcionamiento del sistema se cuenta con el criterio de un experto es decir la profesora del club de Taekwondo de la “UTN” en el Anexo E se evidencia el registro de evaluación por parte del experto.

La evaluación del experto permite realizar una comparación entre la evaluación del sistema y la del experto, basado es tres criterios:

- Verdadero: se considera como verdadero a la ejecución correcta de la técnica o postura.
- Falso: se considera como falso a una postura diferente a la técnica seleccionada para la evaluación.
- Aceptable: es un valor medio donde el deportista realizó una postura con un nivel superior de similitud a la técnica propuesta a entrenar.

En esta prueba se realizó la evaluación de las posturas básicas a un total de cuatro deportistas de diferentes edades, realizando cada uno 3 repeticiones por postura, con el objetivo de determinar la detección de las diferentes posturas.

A continuación, se presenta los datos recolectados en la prueba de funcionamiento del sistema, ver tabla 17. Pruebas de funcionamiento del sistema, dentro de evaluación del sistema se emplean los términos verdadero o falso, es decir verdadero si el sistema detecto la postura y falso si el sistema no detecto la postura seleccionada.

Tabla 17

Pruebas de funcionamiento del sistema

No	Criterio Experto	Evaluación Sistema	Resultado
1	Aceptable	Verdadero	Aceptable
2	Falso	Verdadero	Falso
3	Verdadero	Verdadero	Verdadero
4	Verdadero	Falso	Falso
5	Aceptable	Verdadero	Aceptable
6	Aceptable	Verdadero	Aceptable
7	Falso	Verdadero	Falso
8	Falso	Verdadero	Falso
9	Falso	Verdadero	Falso

10	Verdadero	Verdadero	Verdadero
11	Verdadero	Verdadero	Verdadero
12	Verdadero	Verdadero	Verdadero
13	Verdadero	Verdadero	Verdadero
14	Verdadero	Verdadero	Verdadero
15	Verdadero	Verdadero	Verdadero
16	Verdadero	Verdadero	Verdadero
17	Verdadero	Verdadero	Verdadero
18	Verdadero	Verdadero	Verdadero
19	Verdadero	Verdadero	Verdadero
20	Verdadero	Verdadero	Verdadero
21	Verdadero	Verdadero	Verdadero
22	Falso	Verdadero	Falso
23	Falso	Verdadero	Falso
24	Verdadero	Falso	Falso
25	Aceptable	Verdadero	Aceptable
26	Verdadero	Verdadero	Verdadero
27	Verdadero	Verdadero	Verdadero
28	Verdadero	Verdadero	Verdadero
29	Verdadero	Verdadero	Verdadero
30	Verdadero	Verdadero	Verdadero
31	Falso	Verdadero	Falso
32	Falso	Verdadero	Falso
33	Verdadero	Verdadero	Verdadero
34	Verdadero	Verdadero	Verdadero
35	Verdadero	Verdadero	Verdadero
36	Verdadero	Verdadero	Verdadero
37	Verdadero	Verdadero	Verdadero
38	Verdadero	Verdadero	Verdadero
39	Verdadero	Verdadero	Verdadero
40	Verdadero	Verdadero	Verdadero
41	Verdadero	Verdadero	Verdadero
42	Verdadero	Verdadero	Verdadero
43	Verdadero	Verdadero	Verdadero
44	Verdadero	Verdadero	Verdadero
45	Verdadero	Verdadero	Verdadero
46	Verdadero	Verdadero	Verdadero
47	Verdadero	Verdadero	Verdadero
48	Verdadero	Verdadero	Verdadero

Fuente: Elaborado por el autor.

4.1.3. Resultados prueba del sistema.

Los resultados de la prueba de funcionamiento del sistema se indican en la tabla 18 Resultados prueba del sistema, donde se indica el porcentaje obtenido para los tres criterios de evaluación y el número de muestra por cada criterio de evaluación.

Tabla 18

Resultados pruebas de funcionamiento

Criterio	Número de muestra	Porcentaje
Verdadero	34	71%
Falso	10	21%
Aceptable	4	8%

Fuente: Elaborado por el autor.

- **Análisis de resultados pruebas de funcionamiento.**

En la figura 25 se indica la tabulación de resultados señalando un porcentaje igual al 71% a un criterio de lectura de datos verdadero y 8% aceptable, lo cual indica que el sistema es capaz de detectar una determinada postura con un nivel de confianza del 79%.



Figura 25. Tabulación resultados pruebas de funcionamiento.
Fuente: Elaborado por el autor.

En la prueba de funcionamiento presentaron mayor cantidad de alertas falsas las posturas Are Makgui (defensa a la zona baja) y Momthon Jirugui (golpe de puño), lo cual fue solucionado cambiando los parámetros de evaluación en la parte de la comparación de ángulos y aumentando el tiempo necesario para ser reconocido un gesto como verdadero.

4.2. Pruebas por postura.

Para determinar la fiabilidad del sistema se ha dividido las pruebas en cuatro secciones, es decir cada sección representa una postura. Esta prueba se la realizó con un número mayor de deportistas. Considerando tres criterios de evaluación del sistema: correcto, aceptable, regular, y el criterio del experto (Si – No), es decir si está de acuerdo o no con la evaluación del sistema, en el Anexo F se evidencia el registro de evaluación por parte del experto y las pruebas realizadas.

4.2.1. Sección 1 Postura Are Makgui.

En esta sección se realizaron varias pruebas de la aplicación entrenar para la postura Are Makgui o defensa baja, las cuales fueron realizadas a diferentes deportistas universitarios y vinculados de diferente estatura, edad y cinturón. De dichas pruebas se obtuvieron los resultados expuestos en la tabla 19 donde se señala el criterio del experto y la evaluación del sistema además del ángulo medido por el sensor.

Tabla 19

Pruebas sección 1 postura Are Makgui

N° DE MUESTRAS	Criterio EXPERTO	Evaluación SISTEMA	ÁNGULO	RESULTADO
1	si	correcto	218	si
2	si	aceptable	198	si
3	si	correcto	208	si
4	si	correcto	207	si
5	no	correcto	207	no
6	no	correcto	204	no
7	si	regular	225	si
8	si	aceptable	198	si
9	si	regular	246	si
10	si	aceptable	193	si
11	si	regular	284	si
12	si	aceptable	194	si
13	si	correcto	208	si
14	si	correcto	207	si
15	si	correcto	204	si
16	si	correcto	204	si
17	si	correcto	204	si
18	si	correcto	208	si
19	no	regular	269	no
20	si	regular	222	si
21	si	regular	276	si
22	no	correcto	215	no

23	si	correcto	207	si
24	si	aceptable	189	si
25	si	aceptable	188	si
26	si	aceptable	195	si
27	si	regular	243	si
28	si	regular	227	si
29	si	aceptable	196	si
30	si	aceptable	190	si

Fuente: Elaborado por el autor.

Resultados:

Considerando la evaluación del experto al momento de ejecución del sistema en el club de Taekwondo de la “UTN” el valor de respuestas “Si” es igual a 26 lo que significa el 87% de aciertos del sistema para la postura de defensa baja. En la figura 26 Ejemplo resultado sección 1 postura Are Makgui, se puede observar los datos proporcionados por el sistema al finalizar una postura.

Figura 26. Ejemplo resultado sección 1 postura Are Makgui.

Fuente: Elaborado por el autor.

4.2.2. Sección 2 Postura Momthon Makgui.

En esta sección se realizó la prueba de la postura Momthon Makgui o defensa media, en la tabla 20 se detalla el criterio del experto y la evaluación del sistema además del ángulo medido por el sensor, para la evaluación de las diferentes repeticiones por postura.

Tabla 20

Pruebas sección 2 postura Momthon Makgui

N° de muestra	Criterio EXPERTO	Evaluación SISTEMA	Ángulo	Resultado
1	si	aceptable	274	si
2	si	aceptable	320	si
3	si	aceptable	274	si
4	si	aceptable	311	si
5	si	aceptable	280	si
6	si	aceptable	274	si
7	si	aceptable	318	si
8	no	regular	40	no
9	si	aceptable	357	Si
10	si	aceptable	271	Si
11	si	aceptable	274	Si
12	si	aceptable	332	Si
13	si	aceptable	312	Si
14	si	aceptable	296	Si
15	si	aceptable	299	Si
16	si	aceptable	276	Si
17	si	aceptable	288	Si
18	si	aceptable	283	Si
19	no	regular	93	no
20	si	aceptable	301	si
21	si	aceptable	298	si
22	si	aceptable	300	si
23	si	aceptable	298	si
24	si	regular	208	si
25	si	regular	262	si
26	si	regular	207	si
27	si	regular	189	si

28	si	regular	238	si
29	si	regular	136	si
30	si	regular	218	si

Fuente: Elaborado por el autor.

Resultados:

La evaluación de la defensa media o postura Momthon Makgui tiene un porcentaje igual al 93% de aciertos en base a los datos recolectados. En la figura 27 se indica la imagen capturada por Kinect v2 en la ejecución de la postura a evaluar.



Figura 27. Ejemplo sección 2 postura Momthon Makgui.
Fuente: Elaborado por el autor.

4.2.3. Sección 3 Postura Olgul Makgui.

En esta sección se realizó la prueba de la postura Olgul Makgui o defensa alta, en la tabla 21 se detalla los datos recolectados de las pruebas realizadas.

Tabla 21

Pruebas sección 3 Postura Olgul Makgui

N° muestra	Criterio EXPERTO	Evaluación SISTEMA	Ángulo	Resultado
1	si	regular	96	si
2	si	regular	82	si
3	si	correcto	111	si
4	si	correcto	112	si
5	si	correcto	105	si
6	si	regular	95	si
7	si	correcto	102	si
8	si	correcto	116	si
9	si	correcto	113	si
10	si	correcto	109	si
11	si	regular	97	si
12	si	regular	86	si
13	no	regular	91	no
14	si	regular	93	si
15	si	correcto	102	si
16	si	correcto	112	si
17	si	correcto	118	si
18	si	correcto	101	si
19	si	aceptable	126	si
20	si	aceptable	126	si
21	si	regular	95	si
22	si	regular	98	si
23	si	correcto	107	si
24	si	regular	93	si
25	si	correcto	107	si
26	si	aceptable	129	si
27	si	regular	92	si

28	no	regular	280	no
29	si	regular	246	si
30	si	regular	188	si

Fuente: Elaborado por el autor.

Resultados:

La evaluación de la defensa alta o postura Olgul Makgui tiene un porcentaje de aciertos igual al 93%. En la figura 28 se puede observar los datos proporcionados por el sistema al finalizar una postura.

Entrenar

Salir **Olgul Makgui -Are Makgui - Momthon Jireugi - Makgui**

Postura: Olgul Makgui Momthon Jireugi Are Makgui Momthon Makgui

Paso 1:

Paso 2:

Paso 3:

Paso 4:

Angulos:

Evaluación: ID Usuario:

Guardado
Usuario Guardado Con Exito!!
Aceptar

Activar Windows
Ir a Configuración de PC para activar Windows.

Figura 28. Resultado sección 3 postura Olgul Makgui.

Fuente: Elaborado por el autor.

4.2.4. Sección 4 Postura Momthon Jirugui.

En esta sección se realizó la prueba de la postura Momthon Jirugui o golpe de puño, en la tabla 22 se detalla los datos recolectados de las pruebas realizadas.

Tabla 22

Pruebas sección 4 Postura Momthon Jirugui

No de muestra	Criterio EXPERTO	Evaluación SISTEMA	Angulo	Resultado
1	si	aceptable	227	si
2	Si	aceptable	237	Si
3	si	correcto	276	si
4	si	correcto	330	si
5	no	correcto	333	no
6	si	correcto	332	si
7	si	correcto	296	si
8	si	regular	57	si
9	si	correcto	283	si
10	si	aceptable	229	si
11	si	correcto	336	si
12	si	correcto	283	si
13	no	aceptable	357	no
14	si	aceptable	229	si
15	si	correcto	336	si
16	si	correcto	267	si
17	si	correcto	317	si
18	si	correcto	328	si
19	si	regular	73	si
20	si	regular	54	si
21	si	correcto	316	si
22	si	correcto	325	si
23	si	regular	83	si
24	si	regular	69	si
25	si	regular	59	si
26	si	regular	79	si
27	no	correcto	352	no
28	si	regular	50	si
29	si	correcto	262	si

30	si	aceptable	180	si
----	----	-----------	-----	----

Fuente: Elaborado por el autor.

Resultados:

El sistema tiene un porcentaje igual al 90% de aciertos en la postura Momthon Jirugui o golpe de puño, en la figura 29 se observa la imagen capturada por el sensor al detectar la postura a entrenar.



Figura 29. Resultado sección 4 postura Momthon Jirugui.
Fuente: Elaborado por el autor.

4.3. Verificación de requerimientos.

Continuando con la metodología del modelo en V luego de realizar las pruebas del sistema, se realiza la verificación de requerimientos con el objetivo de determinar el grado de cumplimiento de estos, en la tabla 23 Verificación y cumplimiento de requerimientos, se califica el cumplimiento de estos de acuerdo con el grado de satisfacción.

Tabla 23

Verificación y cumplimiento de requerimientos

Requerimientos	Cumplimiento
Latencia mínima de 20 ms en el envío de datos del sensor de movimiento.	Muy Satisfactorio.
Uso continuo mayor a 30 minutos.	Muy Satisfactorio.
Facilidad de uso para los usuarios.	Muy Satisfactorio.
Visualización gráfica de resultados.	Muy Satisfactorio.
Espacio libre de obstáculos en el área de entrenamiento.	Satisfactorio.
Captar movimiento de extremidades del cuerpo humano.	Muy Satisfactorio.
Susceptibilidad a variaciones de luz.	Satisfactorio.
Capacidad de capturar imágenes en alta resolución (1920 x 1080 píxeles).	Muy Satisfactorio.
Esquematación del cuerpo humano.	Muy Satisfactorio.

Fuente: Elaborado por el autor

4.4. Evaluación del sistema.

El sistema de captura de movimiento para asistir el entrenamiento del club de Taekwondo de la “Universidad Técnica del Norte” se evalúa mediante el estudio de los datos recolectados de las pruebas por postura, determinando así la confiabilidad del sistema y la tasa de fallas de este.

Para establecer el índice de fallas del sistema se aplica la siguiente formula:

$$TF\% = \frac{\text{Número de Fallas}}{\text{Número de Examinados}}$$

Donde:

Número de examinados = 120

Número de fallas = 11

$$TF\% = \frac{11}{120} = 9.1666\%$$

De acuerdo con el índice de fallas se concluye que el sistema presenta un nivel de confianza igual al 90.83%.

Las fallas presentadas por el sistema al momento de evaluar las posturas básicas tales como: defensa baja y golpe de puño. Se deben a que el algoritmo implementado es dependiente del eje z,

y en las posturas antes mencionadas no se logra capturar de forma correcta la profundidad en determinadas ocasiones.

4.5. Costos del sistema.

El costo del sistema está dividido en software, hardware. El hardware necesario para realizar el proyecto es un computador, un Kinect v2 y adaptador Kinect, el costo de software hace referencia al costo por hora de programación. A continuación, en la tabla 24 se detalla el costo total del sistema.

Tabla 24

Costo sistema de captura de movimiento

DETALLE	CANTIDAD	UNIDAD	C. UNITARIO \$	TOTAL \$
Kinect v2.	1		150.00	150.00
Computador Laptop.	1		700.00	700.00
Adaptador Kinect.	1		75.00	75.00
Software. Horas de programación	70	Horas de programación	12.00	840.00
TOTAL \$				1765.00

Fuente: Elaborado por el autor.

CONCLUSIONES.

- Se desarrollo un sistema de captura de movimiento mediante la utilización de la tecnología Kinect, para asistir el entrenamiento de posturas básicas de la Poomsae Taegeuk 1 el mismo que trabaja con un nivel de confianza igual al 90, 83%, valor obtenido de evaluación del sistema.
- La utilización de Kinect versión 2.0, beneficio la programación del proyecto al lograr tener un mayor número de articulaciones detectadas por el usuario y la posibilidad de detección de los estados de la mano.
- El dispositivo Kinect lee las coordenadas de las articulaciones del cuerpo las cuales son almacenadas en un vector Position 3D en la clase C# del proyecto Visual Studio, lo cual permite hacer uso de dicho vector para la comparación de posturas en el plano XYZ.
- El uso del sistema para evaluar posturas básicas motiva a los deportistas a realizar un mayor número de repeticiones de una postura ya que estos desean obtener una mayor puntuación, lo cual beneficia al mejoramiento de la coordinación física y mental y por ende de la técnica entrenada.
- El sistema permite evaluar la realización de una postura calificando partes principales de la técnica con restricciones ya que existen aspectos importantes dentro de la evaluación de esta los cuales no son cubiertos por el sistema

consecuencia de las limitaciones del sensor y SDK, por lo cual se almacena una imagen la cual podrá observar el deportista o el entrenador para obtener más detalles de los errores cometidos.

RECOMENDACIONES.

- Para la obtención de mejores resultados en la evaluación de posturas se recomienda realizar el entrenamiento en un ambiente controlado de niveles de luz y en el cual no exista ningún objeto entre el deportista y el sensor.
- Antes de usar el sistema se debe tomar en cuenta la ubicación del dispositivo Kinect v2 ya que de esto dependerá la calidad de los datos recolectados por este, al ser un sistema dependiente de la distancia altura y ángulo de inclinación en la que se encuentra el dispositivo.
- Si se desea realizar un sistema capaz de evaluar el entrenamiento de un Poomsae Taegeuk 1 completo, se recomienda el uso de tres sensores Kinect v2, para monitorear las articulaciones desde tres perspectivas diferentes e incrementar el rango de visión ya que al poseer un solo Kinect no se logra cubrir todo el camino del Poomsae Taegeuk 1.
- Es aconsejable verificar la conexión del sensor y el adaptador verificando que la luz led del hub sea de color blanco lo cual indica que el dispositivo está conectado

al ordenador, en caso de que la luz sea de color naranja significa que el dispositivo solo cuenta con la alimentación eléctrica.

- En caso de realizar un proyecto similar se recomienda añadir más opciones de entrenamiento donde el deportista tenga la capacidad de seleccionar el grado de dificultad del entrenamiento a realizar ya que no todos los deportistas se encuentran en iguales condiciones físicas.
- Para mejorar la experiencia de uso del sistema se podría implementar un analizador de puntuaciones alcanzadas en un periodo determinado de tiempo en el cual el deportista o el entrenador podrían comprobar la evolución del entrenamiento.
- En el presente proyecto el deportista obtiene información de los errores por paso, en aplicaciones futuras se podría mejorar la información indicando el tiempo que se demoró en la realización de la postura o PUM.

Referencias Bibliográficas

iFixit. (s.f.). *iFixit*. Obtenido de Xbox One Kinect: <https://es.ifixit.com>

Akilian, F. J. (2009). TAEKWONDO OLIMPICO Enseñar el Arte de Jugar el Deporte. Buenos Aires: kier.

Bonilla Valdivieso, C. M. (Agosto de 2015). Metodología integral para el proceso de enseñanza-aprendizaje de la poomsae Taeguek en la iniciación del taekwondo. Sangolquí, Ecuador.

Castañeda, P. G. (2004). Importancia del desarrollo óptimo de la flexibilidad en las Artes Marciales. *Lecturas: Educación física y deportes*, (69), 21.

Dubois, P. (2001). *MySQL*. Madrid: Prentice Hall.

García Santillan, I. D. (2008). *Visión artificial y procesamiento Digital de imágenes usando Matlab*. Ibarra: PUCE.

García, A. S. (2013). *Inteligencia Artificial*. Mexico D.F.: Alfaomega.

Gómez, M., Anzola, J. N., & Barrero, D. (s.f.). *loop.la*. Obtenido de Sistemas de captura de movimiento -EXOCAP:
http://www.loop.la/2003/docs/sistema_de_captura_EXOCAP.pdf

iFixit. (21 de Noviembre de 2013). *Xbox One Kinect Teardown*. Obtenido de Xbox One Kinect Teardown Web site:
<https://www.ifixit.com/Teardown/Xbox+One+Kinect+Teardown/19725>

JIMDO. (26 de Julio de 2011). *ASSOCIACIÓ D'AMICS DEL TAEKWONDO A MARRATXÍ*.

Obtenido de TAEGEUK IL CHANG: <https://kumgangmarratxi.jimdo.com/de-inter%C3%A9s-did%C3%A1ctico/poomsae/taeguk-il-chang-1er-poomsae/>

Méndez, J. (s. f). *Taekwondo*. Obtenido de COORDINACIÓN DE DEPORTES UTN:

http://www.utn.edu.ec/deportes/?page_id=775

opencv.org. (2017). *OpenCV*. Obtenido de <http://opencv.org/>

Palma, Á. (30 de Septiembre de 2013). *Kinect para XBOX One: Generación XBOX*. Obtenido de

Generación XBOX Web site: <http://generacionxbox.com/kinect-para-xbox-one/>

Park, Y. H., Park, Y. H., & J. G. (2009). *TAE KWON DO*. Corea: World Taekwondo Federations.

Pterneas, V. (28 de Enero de 2014). *CODE PROJECT*. Obtenido de

<https://www.codeproject.com/Articles/716741/Implementing-Kinect-gestures>

Rodríguez, Á. (2013). Sistema de entrenamiento con Kinect. Barcelona, España.

Secretaría Nacional De Planificación Y Desarrollo. (2013). *Plan Nacional para el Buen Vivir*.

Quito: Senplades.

Sharp, J., & Jagger, J. (2002). *Aprenda ya Microsoft Visual C# .NET*. Madrid: McGraw-Hill

Profesional.

Sommerville, I. (2011). *Ingeniería de Software*. México: Pearson Educación.

Sossa Azuela, J. H. (2013). *Visión Artificial Rasgos Descriptores para el Reconocimiento de Objetos*. Madrid: Ra - Ma.

Stepan, C. A. (2002). TAEKWONDO. En *Guia básica para conocer este arte marcial* (pág. 8). Madrid: Edimat.

tripod. (s.f.). *POSICIONES*. Obtenido de <http://taekwondo.es.tripod.com/posiciones.htm>

Weinberg, R. S. (2010). *Fundamentos de psicología del deporte y del ejercicio físico*. Ed. Médica Panamericana.

Glosario de Términos y Acrónimos.

Ap chagui: palabra en coreano que significa patada frontal.

Ap kubi Sogui: palabra en coreano que significa paso largo con la pierna de adelante flexionada.

Ap Sogui: palabra en coreano que significa un paso natural. Piernas extendidas.

Ap: palabra en coreano que significa hacia delante.

API: siglas en ingles Interfaz de programación de aplicaciones.

Are Makgui: palabra en coreano que significa defensa a la zona baja.

Are: palabra en coreano que significa zona baja. Desde la cintura y hasta la rodilla.

Bande: palabra en coreano que significa mismo lado.

Baro: palabra en coreano que significa lado contrario.

BdComun: significa clase de conexión aplicación con base de datos.

C#: significa lenguaje de programación, el cual es utilizado con mayor frecuencia.

Chagui: palabra en coreano que significa patada.

Chigi: palabra en coreano que significa golpe.

Chirigui: palabra en coreano que significa golpe seco.

Chumbi: terminología empleada en Taekwondo para referirse a “preparado o listo”.

Gue: traducción del coreano referente a los símbolos de adivinación.

Gup: grado en coreano, indica el nivel de aprendizaje de un alumno.

Hub: es un dispositivo que permite centralizar el cableado.

IDpostura: significa la clase c# en la cual se desarrolla el algoritmo de comparación de posturas.

IDusuario: significa el número que identifica a un único usuario.

IEEE 28148: Es la norma internacional que proporciona tratamiento unificado de los procesos.

ITF: son las siglas de la federación internacional de taekwondo.

Jirugui: palabra en coreano que significa golpe pasante.

Kubi: palabra en coreano que significa flexionado.

Makgui: palabra en coreano que significa defensa o bloqueo.

Momthon Bande Jirugui: palabra en coreano que significa golpe de puño a la zona media.

Momthon Baro Jirugui: palabra en coreano que significa golpe de puño al medio, del lado contrario a la pierna adelantada.

Momthon Makgui: palabra en coreano que significa defensa de la zona media bloqueando desde afuera hacia adentro.

Momthon: palabra en coreano que significa zona media. Desde la cintura y hasta la clavícula.

MySql: significa sistema de gestión de base de datos.

Olgul Makgui: palabra en coreano que significa defensa a la zona alta.

Olgul: palabra en coreano que significa zona alta por arriba de la línea de la clavícula.

OpenNI : acrónimo de Open Natural Interaction, la cual es una organización sin ánimo de lucro.

Pum: palabra en coreano que significa forma o técnica final de una postura.

RGB: siglas en ingles de Red, Green, Blue es la composición del color en términos de la intensidad de los colores primarios de la luz.

SDK: siglas de kit de desarrollo de software.

Sogui: palabra en coreano que significa posición.

Stakeholders: organización o persona que tenga un derecho, acción, reclamo o interés en un sistema o en su posesión característica que satisfagan sus necesidades y expectativas.

Tae: palabra en coreano que significa grandeza.

Taegeuk: palabra de origen coreano que significa los esquemas básicos de las formas o Poomsae.

TKD: siglas de Taekwondo usadas en el presente proyecto.

UTN: Universidad Técnica del Norte.

Visual Studio: es el entorno de desarrollo integrado para sistemas operativos Windows.

WPF: siglas en ingles de Windows Presentation Foundation, el cual permite el desarrollo de interfaces en Windows e integrar elementos de video, imágenes.

WTF: siglas en ingles de asociación mundial de taekwondo.

.

Anexos.

Anexo A. Código de programación.

Se detalla el código de programación realizado a través de Visual Studio 2012 WPF, en el lenguaje de programación C#.

Código ventana principal.

```

////////Librerias utilizadas en el proyecto
using LightBuzz.Vitruvius; // Diagramacion de las articulaciones
using Microsoft.Kinect; // Uso del sdk sensor kinect
using MySql.Data; // base de datos
using MySql.Data.MySqlClient;
namespace Tesis_TKD_V1._0
{
    public partial class MainWindow : Window
    {

        public MainWindow()
        {
            InitializeComponent();
        }

        // Resultados de evaluacion ingresando el IDusuario
        private void btnver_Click(object sender, RoutedEventArgs e)
        {
            MySqlConnection conexion = BdComun.ObtenerConexion();
            string pid = txtidres.Text;
            MySqlCommand cmd = new MySqlCommand(String.Format("select * from registro1
where IDdeportista='{0}' ", pid ), conexion);
            DataTable dt = new DataTable();
            dt.Load( cmd.ExecuteReader());
            conexion.Close();
            dtgbd.DataContext = dt;
        }

        // Ir a las opciones (Entrenar Visualizar)
        private void btnplay_Click(object sender, RoutedEventArgs e)
        {
            int id = Convert.ToInt32(txtid.Text);
            int resultado = UsuarioDal.ObtenerUsuario(id);
        }
    }
}

```

```

        if (resultado > 0)
        {
            // Limpiar();
            tabcontrol.SelectedIndex = 3;

        }
        else
            MessageBox.Show("ingrese un id valido");
    }

    // Ir a la ventana de visualización
    private void apch_Click(object sender, RoutedEventArgs e)
    {
        visualizacion ventana1 = new visualizacion();

        ventana1.Show();
        this.Close();
    }
    // Ir a la ventana de entrenamiento
    private void areM_Click(object sender, RoutedEventArgs e)
    {
        Apkubi ventana2 = new Apkubi();
        ventana2.Show();
        ventana2.txtusuario.Text = txtid.Text;

        this.Close();
    }
    // Ir a Crear nuevo usuario
    private void btnCrearUser_Click(object sender, RoutedEventArgs e)
    {
        tabcontrol.SelectedIndex = 1;
    }

    // Metodo limpiar cuadros de texto
    void Limpiar()
    {
        txtname.Clear();
        txtapellido.Clear();
        txtid.Clear();
        txtedad.Clear();
        txtcinturon.Clear();
        txtcedula.Clear();
    }
    // Guardar un nuevo usuario
    private void Btn_Click_1(object sender, RoutedEventArgs e)
    {
        if (string.IsNullOrWhiteSpace(txtname.Text) ||
            string.IsNullOrWhiteSpace(txtapellido.Text) ||
                string.IsNullOrWhiteSpace(txtedad.Text) ||
            string.IsNullOrWhiteSpace(txtcedula.Text) ||
                string.IsNullOrWhiteSpace(txtcinturon.Text))
        {
            MessageBox.Show("Hay Uno o mas Campos Vacios!", "Campos Vacios!!");
        }
    }

```

```

    }
    else
    {
        Usuario pUsuario = new Usuario();
        pUsuario.Nombre = txtname.Text.Trim();
        pUsuario.Apellido = txtapellido.Text.Trim();
        pUsuario.Edad = txtedad.Text.Trim();
        pUsuario.Cedula = txtcedula.Text.Trim();
        pUsuario.Cinturon = txtcinturon.Text.Trim();
        int resultado = UsuarioDal.Agregar(pUsuario);
        if (resultado > 0)
        {
            MessageBox.Show("Usuario Guardado Con Exito!!", "Guardado");
//mostrar mensaje indicador que se guardo los datos
            MySqlConnection conexion = BdComun.ObtenerConexion();
            MySqlCommand cmd = new MySqlCommand(String.Format("SELECT
MAX(IDusuario) FROM datos"), conexion);
            DataTable dt = new DataTable();
            dt.Load(cmd.ExecuteReader());
            conexion.Close();
            dgv1.DataContext = dt;

            Limpiar();
        }
        else
        {
            MessageBox.Show("No se pudo guardar el Usuario", "Fallo!!");
        }
    }
}
}

```

Código ventana entrenar.

```

namespace Tesis_TKD_V1._0
{
    /// <summary>
    /// Lógica de interacción para Ap_kubi.xaml
    /// </summary>
    public partial class Apkubi : Window
    {
        KinectSensor _sensor; // variable sensor
        MultiSourceFrameReader _reader; // variable de lectura de tramas
        PlayersController _playersController; // variable de cuerpos detectados por el
sensor
        IDpostura IDpostura = new IDpostura(); // clase de posturas

        // variables
        int paso = 0;
        int postura = 0;
        int mov = 0;
        int resultado;
        SpeechSynthesizer synthesizer = new SpeechSynthesizer(); //clase de audio
    }
}

```

```

// definicion de joints

//Declaracion de articulaciones lado derecho del cuerpo
JointType _hombrod = JointType.ShoulderRight; //hombro derecho
JointType _codod = JointType.ElbowRight; //codo derecho
JointType _muned = JointType.WristRight; //muñeca derecha

//Declaracion de articulaciones lado izquierdo del cuerpo
JointType _hombroi = JointType.ShoulderLeft; //hombro izq
JointType _codoi = JointType.ElbowLeft; //codo izq
JointType _munei = JointType.WristLeft; // muñeca izq

public struct position3D // vector de posiciones
{
    public float X;
    public float Y;
    public float Z;
}

public Apkubi()
{
    InitializeComponent();

    _sensor = KinectSensor.Default; //obtener datos del sensor

    synthesizer.SpeakAsyncCancelAll();
    synthesizer.SelectVoice("Microsoft Sabina Desktop");
    synthesizer.SpeakAsync("Por favor selecciona la postura a entrenar");

    // comprueba si existen datos en el kinect
    if (_sensor != null)
    {
        _sensor.Open();
        //lectura de datos de color profundidad infrarrojo articulaciones
        _reader = _sensor.OpenMultiSourceFrameReader(FrameSourceTypes.Color |
FrameSourceTypes.Depth | FrameSourceTypes.Infrared | FrameSourceTypes.Body);
        _reader.MultiSourceFrameArrived += Reader_MultiSourceFrameArrived;
        _playersController = new PlayersController();
        _playersController.BodyEntered += UserReporter_BodyEntered;
        _playersController.BodyLeft += UserReporter_BodyLeft;
        _playersController.Start();
    }

}

void Reader_MultiSourceFrameArrived(object sender,
MultiSourceFrameArrivedEventArgs e)
{
    var reference = e.FrameReference.AcquireFrame();
    using (var frame = reference.ColorFrameReference.AcquireFrame())
    {
        if (frame != null)
        {

```

```

        viewer1.Image = frame.ToBitmap(); // mostrar imagen a color
    }
}

// Body
using (var frame = reference.BodyFrameReference.AcquireFrame())
{
    if (frame != null)
    {
        var bodies = frame.Bodies();

        _playersController.Update(bodies);

        Body body = bodies.Closest();

        if (body != null)
        {
            viewer1.DrawBody(body); //muestra el esqueleto del usuario

            // Casos de uso del sistema

            switch (paso)
            {
                case 1: // PUM ARE MAKGUI

                    postura = 1;
                    mov = 0;
                    resultado = 0;
                    IDpostura.accumulator = 0;
                    paso++;
                    break;

                case 3: // PUM Momthon Jirugi

                    postura = 2;
                    mov = 0;
                    resultado = 0;
                    IDpostura.accumulator = 0;
                    paso++;
                    break;

                case 5: //PUM Olgul Makgui

                    postura = 3;
                    resultado = 0;
                    IDpostura.accumulator = 0;
                    mov = 0;
                    paso++;
                    break;

                case 7: // PUM

                    postura = 4;
                    resultado = 0;
                    IDpostura.accumulator = 0;

```

```

        mov = 0;
        paso++;
        break;
    }

    position3D hipLeft = new position3D(); // cadera izquierda 1
    hipLeft.X = body.Joints[JointType.HipLeft].Position.X;
    hipLeft.Y = body.Joints[JointType.HipLeft].Position.Y;
    hipLeft.Z = body.Joints[JointType.HipLeft].Position.Z;

    position3D hipRight = new position3D(); //cadera derecha 2
    hipRight.X = body.Joints[JointType.HipRight].Position.X;
    hipRight.Y = body.Joints[JointType.HipRight].Position.Y;
    hipRight.Z = body.Joints[JointType.HipRight].Position.Z;

    position3D head = new position3D(); // cabeza 5
    head.X = body.Joints[JointType.Head].Position.X;
    head.Y = body.Joints[JointType.Head].Position.Y;
    head.Z = body.Joints[JointType.Head].Position.Z;

    position3D handLeft = new position3D(); //mano izquierda 6
    handLeft.X = body.Joints[JointType.HandLeft].Position.X;
    handLeft.Y = body.Joints[JointType.HandLeft].Position.Y;
    handLeft.Z = body.Joints[JointType.HandLeft].Position.Z;

    position3D handRight = new position3D(); //mano derecha 7
    handRight.X = body.Joints[JointType.HandRight].Position.X;
    handRight.Y = body.Joints[JointType.HandRight].Position.Y;
    handRight.Z = body.Joints[JointType.HandRight].Position.Z;

    position3D elbowRight = new position3D(); //codo derecho 8
    elbowRight.X = body.Joints[JointType.ElbowRight].Position.X;
    elbowRight.Y = body.Joints[JointType.ElbowRight].Position.Y;
    elbowRight.Z = body.Joints[JointType.ElbowRight].Position.Z;

    position3D elbowLeft = new position3D(); //codo izquierdo 9
    elbowLeft.X = body.Joints[JointType.ElbowLeft].Position.X;
    elbowLeft.Y = body.Joints[JointType.ElbowLeft].Position.Y;
    elbowLeft.Z = body.Joints[JointType.ElbowLeft].Position.Z;

    position3D ShoulderLeft = new position3D(); //hombro derecho 10
    ShoulderLeft.X = body.Joints[JointType.ShoulderLeft].Position.X;
    ShoulderLeft.Y = body.Joints[JointType.ShoulderLeft].Position.Y;
    ShoulderLeft.Z = body.Joints[JointType.ShoulderLeft].Position.Z;

    position3D SpineMid = new position3D(); // cintura
    SpineMid.X = body.Joints[JointType.SpineMid].Position.X;
    SpineMid.Y = body.Joints[JointType.SpineMid].Position.Y;
    SpineMid.Z = body.Joints[JointType.SpineMid].Position.Z;

    position3D neck = new position3D(); // cuello
    neck.X = body.Joints[ JointType.Neck].Position.X;
    neck.Z = body.Joints[ JointType.Neck].Position.Z;

    position3D spine = new position3D(); // SPINE shoulder
    spine.X = body.Joints[JointType.SpineShoulder].Position.X;
    spine.Y = body.Joints[JointType.SpineShoulder].Position.Y;

```

```

        position3D spinebase = new position3D(); // spine base
        spinebase.Y = body.Joints[JointType.SpineBase].Position.Y;

        //angulos
        angle1.Update(body.Joints[_hombrod], body.Joints[_codod],
body.Joints[_muned], 25);
        angle2.Update(body.Joints[_munei], body.Joints[_codoi],
body.Joints[_hombroi], 25);

////////////////////////////////////

        // are makgui
        if (postura == 1 && _sensor != null)
        {
                if (mov == 0)
                {
                        // invocar clase de compracion de postura
                        if ((IDpostura.aremakgui(handLeft.X, handLeft.Y,
handLeft.Z, hipLeft.X, hipLeft.Y, hipLeft.Z,
handRight.X, handRight.Y, handRight.Z,
elbowRight.X, elbowRight.Y, elbowRight.Z,
SpineMid.X, SpineMid.Y, SpineMid.Z,
ShoulderLeft.X, ShoulderRight.X, spinebase.Y)) && (body.HandRightState ==
HandState.Closed))
                                {

IDpostura.PostureDetector(Tesis_TKD_V1._0.Posture.aremaki);

                                if (IDpostura.accumulator > 18 )
                                {
                                        if ((int)angle1.Angle > 200 && (int)angle1.Angle
< 220 )
                                        {
                                                resultado = resultado + 6;
                                                txtpaso3.Text = "Are Maki correcto";
                                                txta12.Text = (" Are Maki " + " < 1=" +
((int)angle1.Angle).ToString() + " < 2=" + ((int)angle2.Angle).ToString());
                                        }
                                        if ((int)angle1.Angle > 185 && (int)angle1.Angle
< 200 )
                                        {
                                                resultado = resultado + 4;
                                                txta34.Text = (" Are Maki " + " < 1=" +
((int)angle1.Angle).ToString() + " < 2=" + ((int)angle2.Angle).ToString());
                                                txtpaso3.Text = " Are Maki aceptable ";
                                        }
                                        if ((int)angle1.Angle > 220 || (int)angle1.Angle
< 185)
                                        {
                                                resultado = resultado + 2;
                                                txta34.Text = (" Are Maki " + " < 1=" +
((int)angle1.Angle).ToString() + " < 2=" + ((int)angle2.Angle).ToString());
                                                txtpaso3.Text = "Are Maki regular ";
                                        }

                                }

                                // postura mirada

```

```

neck.X, neck.Y, neck.Z)))
    {
IDpostura.PostureDetector(Tesis_TKD_V1._0.Posture.vista);

        txtpaso1.Text = "mirada correcto";

        resultado = resultado + 1;
    }
    else
    {
        txtpaso1.Text = "mirada corregir";

        resultado = resultado + 0;

    }
    // fin mirada
        // brazo izquierdo
        if ((IDpostura.manoiz(handLeft.X,
handLeft.Y, handLeft.Z, hipLeft.X, hipLeft.Y, hipLeft.Z)))
        {
IDpostura.PostureDetector(Tesis_TKD_V1._0.Posture.manoizcadera);

                txtpaso4.Text = "brazo izquierdo
correcto";

                resultado = resultado + 2;

        }
        else
        {
            txtpaso4.Text = "brazo izquierdo
correcto";

            resultado = resultado + 0;

        }
        }////////// fin brazo izquierdo
        ///hombros
        if
((IDpostura.hombros(ShoulderRight.Y, ShoulderRight.Z, ShoulderLeft.Y, ShoulderLeft.Z)))
        {
IDpostura.PostureDetector(Tesis_TKD_V1._0.Posture.hombro);

                txtpaso2.Text = "correcto";
                resultado = resultado + 1;

        }
        else
        {
            txtpaso2.Text = " corregir
hombros";

            resultado = resultado + 0;

        }
        //fin hombros
        mov++;
        IDpostura.accumulator = 0;
    }
}

```



```

        resultado = resultado + 1;
    }
    else
    {
        txtpaso1.Text = "Mirada corregir";
        resultado = resultado + 0;
    }
    // fin mirada
    // brazo izquierdo
    if ((IDpostura.manoiz(handLeft.X, handLeft.Y,
handLeft.Z, hipLeft.X, hipLeft.Y, hipLeft.Z)) && (body.HandLeftState ==
HandState.Closed))
        {
IDpostura.PostureDetector(Tesis_TKD_V1._0.Posture.manoizcadera);
            txtpaso4.Text = "brazo iz bien";
            resultado = resultado + 2;
        }
        else
        {
            txtpaso4.Text = " corregir brazo
izquierdo";

            resultado = resultado + 0;
        }
        ////////// fin brazo izquierdo
        //hombros
        if
((IDpostura.hombros(ShoulderRight.Y, ShoulderRight.Z, ShoulderLeft.Y, ShoulderLeft.Z)))
        {
IDpostura.PostureDetector(Tesis_TKD_V1._0.Posture.hombro);
            txtpaso2.Text = "homros
correcto";

            resultado = resultado +
1;

        }
        else
        {
            txtpaso2.Text = "
corregir hombros";

            resultado = resultado +
0;

        }
        // fin hombros

        mov++;
        IDpostura.accumulator = 0;
        txta34.Text = (" Mj " + " < 1=" +
((int)angle1.Angle).ToString() + " < 2=" + ((int)angle2.Angle).ToString());
        }
    }
    if (mov == 1)
    {
        guarda();
    }
} // fin montong JI

```

```

////////////////////////////////////

// evaluar postura olgul maki
if (postura == 3 && _sensor != null)
{
    if (mov == 0)
    {
        // llamar clase comparacion de postura
        if (IDpostura.olmaki(hipLeft.Z, handRight.X, handRight.Y,
handRight.Z, elbowRight.X, elbowRight.Y, elbowRight.Z,))
        {
IDpostura.PostureDetector(Tesis_TKD_V1._0.Posture.olgul);
            if (IDpostura.accumulator > 18)
            {
                if ((int)angle1.Angle > 100 && (int)angle1.Angle
< 120)
                {
                    txtpaso3.Text = "OM correcto";
                    resultado = resultado + 6;
                    txta12.Text = (" OM " + " < 1=" +
((int)angle1.Angle).ToString() + " < 2=" + ((int)angle2.Angle).ToString());
                }
                if ((int)angle1.Angle > 120 && (int)angle1.Angle
< 160)
                {
                    txta12.Text = (" OM " + " < 1=" +
((int)angle1.Angle).ToString() + " < 2=" + ((int)angle2.Angle).ToString());
                    resultado = resultado + 4;
                    txtpaso3.Text = "OM aceptable";
                }
                if ((int)angle1.Angle > 160 || (int)angle1.Angle
< 100)
                {
                    resultado = resultado + 2;
                    txtpaso3.Text = "OM regular";
                    txta12.Text = (" OM " + " < 1=" +
((int)angle1.Angle).ToString() + " < 2=" + ((int)angle2.Angle).ToString());
                }
                // postura mirada
                if ((IDpostura.frente(head.X, head.Y,
head.Z, neck.X, neck.Y, neck.Z)))
                {
IDpostura.PostureDetector(Tesis_TKD_V1._0.Posture.vista);
                    txtpaso1.Text = " Mirada correcto";

                    resultado = resultado + 1;
                }
                else
                {
                    txtpaso1.Text = "Mirada corregir";

                    resultado = resultado + 0;
                }
                // fin mirada
                // brazo izquierdo

```



```

        if (postura == 4 && _sensor != null)
        {
            if (mov == 0)
            {
                // llamar clase comparacion de postura
                if ((IDpostura.amaki(handLeft.X, handLeft.Y, handLeft.Z,
hipLeft.X, hipLeft.Y, hipLeft.Z, SpineMid.X, SpineMid.Y, SpineMid.Z, ShoulderLeft.X,
ShoulderRight.X)) && (body.HandRightState == HandState.Closed))
                {
                    IDpostura.PostureDetector(Tesis_TKD_V1._0.Posture.anmakgui);
                    if (IDpostura.accumulator > 18)
                    {
                        if ((int)angle1.Angle > 240 && (int)angle1.Angle
< 270 )
                        {
                            txtpaso3.Text = "MomtMAKI correcto";
                            txta12.Text = (" Mm " + " < 1=" +
((int)angle1.Angle).ToString() + " < 2=" + ((int)angle2.Angle).ToString());
                            resultado = resultado + 6;
                        }
                        if ((int)angle1.Angle > 270 )
                        {
                            txtpaso3.Text = "MomtMAKI aceptable";
                            txta12.Text = (" Mm " + " < 1=" +
((int)angle1.Angle).ToString() + " < 2=" + ((int)angle2.Angle).ToString());
                            resultado = resultado + 4;
                        }
                        if ((int)angle1.Angle < 240 )
                        {
                            resultado = resultado + 2;
                            txtpaso3.Text = "MomtMAki regular ";
                            txta12.Text = (" Mm " + " < 1=" +
((int)angle1.Angle).ToString() + " < 2=" + ((int)angle2.Angle).ToString());
                        }
                    }
                    // postura mirada
                    if ((IDpostura.frente(head.X, head.Y, head.Z,
neck.X, neck.Y, neck.Z)))
                    {
                        IDpostura.PostureDetector(Tesis_TKD_V1._0.Posture.vista);
                        txtpaso1.Text = " mirada correcto";
                        resultado = resultado + 1;
                    }
                    else
                    {
                        txtpaso1.Text = "mirada corregir";
                        resultado = resultado + 0;
                    }
                    // fin mirada
                    // brazo izquierdo
                    if ((IDpostura.manoiz(handLeft.X,
handLeft.Y, handLeft.Z, hipLeft.X, hipLeft.Y, hipLeft.Z)))
                    {
                        IDpostura.PostureDetector(Tesis_TKD_V1._0.Posture.manoizcadera);
                    }
                }
            }
        }

```

```

correcto";
        txtpaso4.Text = "brazo izquierdo
        resultado = resultado + 2;
    }
    else
    {
        txtpaso4.Text = "brazo izquierdo
        resultado = resultado + 0;
    }
    ////////// fin brazo izquierdo

        //hombros
        if
        ((IDpostura.hombros(ShoulderRight.Y, ShoulderRight.Z, ShoulderLeft.Y, ShoulderLeft.Z)))
        {
            IDpostura.PostureDetector(Tesis_TKD_V1._0.Posture.hombro);

            txtpaso2.Text = "hombros
            resultado = resultado + 1;
        }
        else
        {
            txtpaso2.Text = "hombros
            resultado = resultado + 0;
        }
        ///fin hombros
        mov++;
        IDpostura.accumulator = 0;
        txta34.Text = (" Mj " + " < 1=" +
        ((int)angle1.Angle).ToString() + " < 2=" + ((int)angle2.Angle).ToString());
    }
    }
    if (mov == 1)
    {
        guarda();
    }
} // Fin deteccion de posturas
}
}

void UserReporter_BodyEntered(object sender, PlayersControllerEventArgs e)
{
}

void UserReporter_BodyLeft(object sender, PlayersControllerEventArgs e)

```

```

{
    viewer1.Clear();
    angle1.Clear();
    angle2.Clear();
    angle3.Clear();
    angle4.Clear();
}

// metodo para guardar datos de entrenamiento en la base de datos
void guarda()
{
    string pathLoc =
Environment.GetFolderPath(Environment.SpecialFolder.MyPictures);
    string time = System.DateTime.Now.ToString("d MMM yyyy hh-mm-ss");
    string path = System.IO.Path.Combine(pathLoc, "captura" + time + ".png");
    (viewer1.Image as WriteableBitmap).Save(path);
    txtevaluacion.Text = Convert.ToString(resultado);

    evaluacion pUsuario = new evaluacion();
    pUsuario.Id = txtusuario.Text.Trim();
    pUsuario.Paso1 = txtpaso1.Text.Trim();
    pUsuario.Paso2 = txtpaso2.Text.Trim();
    pUsuario.Paso3 = txtpaso3.Text.Trim();
    pUsuario.Paso4 = txtpaso4.Text.Trim();
    pUsuario.Evaluacion = txtevaluacion.Text.Trim();
    pUsuario.Angulos = txta12.Text.Trim() + txta34.Text.Trim();
    pUsuario.Imagen = path;

    int guardar = UsuarioDal.AgregarE(pUsuario);
    if (guardar > 0)
    {
        MessageBox.Show("Usuario Guardado Con Exito!!", "Guardado"); //mostrar
mensaje indicador que se guardo los datos
        mov++;
    }
}
void limpiar()
{
    viewer1.Clear();
    txtpaso1.Clear();
    txtpaso2.Clear();
    txtpaso3.Clear();
    txtpaso4.Clear();
    txtevaluacion.Clear();
    txta12.Clear();
    txta34.Clear();
}

private void btnaremaki_Click(object sender, RoutedEventArgs e) // ARE MAKGUI
{
    limpiar();
    synthesizer.Speak(" Para iniciar la evaluación colocarse frente al Kinect PUM
Are Makgui");
    paso = 1;
}

```

```

    }

    private void btnmonji_Click(object sender, RoutedEventArgs e) // MON JIR
    {
        limpiar();
        synthesizer.Speak(" Para iniciar la evaluación colocarse frente al Kinect,
PUM MONTONG JIRUGUI");
        paso = 3;
    }

    private void btnolgul_Click(object sender, RoutedEventArgs e) // OLGUL MAK
    {
        limpiar();
        synthesizer.Speak(" Para iniciar la evaluación colocarse frente al
Kinect, PUM Olgul Makgui ");
        paso = 5;
    }

    private void btnmomaki_Click(object sender, RoutedEventArgs e) // MOMTHON MAKI
    {
        limpiar();
        synthesizer.Speak(" Para iniciar la evaluación colocarse frente al
Kinect, PUM MONTONG MAKI");
        paso = 7;
    }

}

```

Anexo B. Clase IDpostura

A continuación, se indica el código de programación de la clase IDpostura donde se implementa el algoritmo de comparación de posturas.

```
public class IDpostura
{
    public const int PostureDetectionNumber = 22; //tiempo en el cual se debe
mantener una postura para ser verdadera
    public int accumulator = 0;

    public bool maki, recto, olgulumaki, mjiru, sogui, anmaki = false;

    // evaluar hombros
    public bool hombros(float y, float z, float y1, float z1) //hombro derecho hombro
izquierdo
    {

        if ((Math.Abs(y) > Math.Abs(y1)) || (Math.Abs(y1) > Math.Abs(y))
            || (Math.Abs(z1) > Math.Abs(z)) || (Math.Abs(z) > Math.Abs(z1)))
        {
            return recto = false;
        }
        else
            return recto = true;
    }
    // evaluar mirada
    public bool frente(float x, float y, float z, float x1, float y1, float z1)
//cabeza cuello
    {

        if ( (Math.Abs(y1) > Math.Abs(y)) || (Math.Abs(x1) > Math.Abs(x)) ||
(Math.Abs(x) > Math.Abs(x1)))
        {
            return recto = false;
        }
        else
            return recto = true;

    }

    public bool manoiz(float x, float y, float z, float x1, float y1, float z1)
//mano izquierda xyz cadera izquierda x1 y1 z1
    {
        float dist = (x1 - x) + (y1 - y) + (z1 - z));
        if ((Math.Abs(dist) > 0.2f))
        {
```

```

        return recto = false;
    }
    else
        return recto = true;
}

// evaluar momthon maki
public bool amaki(float x, float y, float z, float x1, float y1, float z1, //mano
izquierda xyz cadera izquierda x1 y1 z1
                float x2, float y2, float z2, //mano derecha x2 y2 z2
                float xcd, float ycd, float zcd, float ysm, float x3, float y3,
float z3, float xhi, float xhd)
{
    if ((Math.Abs(zcd) < Math.Abs(z1)) || (Math.Abs(z2) < Math.Abs(zcd))
        && (Math.Abs(y2) < Math.Abs(ysm)) && (Math.Abs(y2) > Math.Abs(ycd))
        && (Math.Abs(x2) <= Math.Abs(xhd)) )
    {
        return anmaki = true;
    }

    return anmaki = false;
}

// evaluar are makgui
public bool aremakgui(float x, float y, float z, float x1, float y1, float z1,
float x2, float y2, float x3, float y3, float z3, float xhi, float xhd, float ysb)
{
    if ((Math.Abs(z2) < Math.Abs(z1)) && (Math.Abs(z2) < Math.Abs(z))
        && (Math.Abs(y2) > Math.Abs(y3))

        && (Math.Abs(xcd) > Math.Abs(x3)))
    {
        return maki = true;
    }

    else
        return maki = false;
}

//evaluar monthon ji

public bool monjiru( float x, float y, float z, float x1, float y1, float z1,
float x2, float y2, float z2,
                float xcd, float ycd, float zcd, float ysm, float x3,
float y3, float z3, float xhi , float xhd)
{

    if ((Math.Abs(z2) < Math.Abs(z1)) && (Math.Abs(z2) < Math.Abs(z))
        && (Math.Abs(y2) < Math.Abs(ysm)) && (Math.Abs(y2) > Math.Abs(y3))
        && (Math.Abs(x2) < Math.Abs(xhd))

```

```

        && (Math.Abs(xcd) > Math.Abs(x3)) )
    {
        return mjiru = true;
    }

    return mjiru = false;
}
//evaluar olgul maki

public bool olmaki ( float z1, float x2, float y2, float z2,
float y3, float z3, float xcd, float ycd, float zcd, float ysm, float x3,
float y3, float z3, float xhi , float xhd, float ycb)
{

    if (((Math.Abs(y2) > Math.Abs(ysm)) && (Math.Abs(ycd) > Math.Abs(ysm)) &&
(Math.Abs(ycb) < Math.Abs(y2)))

        && (Math.Abs(x2) < Math.Abs(xhd)) && (Math.Abs(x2) < Math.Abs(x3))
    ))
    {
        return olgulmaki = true;
    }

    return olgulmaki = false;
}

}

```

Anexo C. Base de datos.

Para la comunicación entre la aplicación y la base de datos se implementó la clase BdComun la cual permite la conexión entre las mismas, y las clases usuario y evaluación las cuales permiten el almacenamiento de datos en los registros de datos de usuarios y evaluación.

Clase c# BdComun

```
class BdComun
{
    // conexion con la base de datos
    public static MySqlConnection ObtenerConexion()
    {
        MySqlConnection connection = new MySqlConnection("server=localhost;
database=bdatos; Uid=root; pwd=");

        connection.Open();
        return connection;
    }
}
```

Clase c# Usuario.

```
class Usuario
{
    public int Id { get; set; }
    public string Nombre { get; set; }
    public string Apellido { get; set; }
    public string Edad { get; set; }
    public string Cedula { get; set; }
    public string Cinturon { get; set; }

    public Usuario() { }

    public Usuario(int pId, string pNombre, string pApellido, string pEdad, string
pCedula, string pCinturon)
    {
        this.Id = pId;
        this.Nombre = pNombre;
        this.Apellido = pApellido;
        this.Edad = pEdad;
        this.Cedula = pCedula;
        this.Cinturon = pCinturon;
    }
}
```

Clase c# evaluación.

```
class evaluacion
{
    public string Id { get; set; }
    public string Paso1 { get; set; }
    public string Paso2 { get; set; }
    public string Paso3 { get; set; }
    public string Paso4 { get; set; }
    public string Angulos { get; set; }
    public string Evaluacion { get; set; }
    public string Imagen { get; set; }

    public evaluacion() { }

    public evaluacion(string pId, string pPaso1, string pPaso2, string pPaso3, string
pPaso4, string pAngulos, string pEvaluacion, string pImagen )
    {
        this.Id = pId;
        this.Paso1 = pPaso1;
        this.Paso2 = pPaso2;
        this.Paso3 = pPaso3;
        this.Paso4 = pPaso4;
        this.Angulos = pAngulos;
        this.Evaluacion = pEvaluacion;
        this.Imagen = pImagen;
    }
}
```

Anexo D. Formato de encuesta.



Universidad Técnica Del Norte

Facultad De Ingeniería En Ciencias Aplicadas

Carrera De Ingeniería En Electrónica Y Redes De Comunicación

RECOPIACIÓN DE DATOS PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE CAPTURA DE MOVIMIENTO

Entrevista dirigida a deportistas de grado medio a superior del club de taekwondo, con el objetivo de recopilar información para el diseño de un sistema de captura de movimiento.

Datos Generales

Nombre del Entrevistado(a): Cinturón:

1. ¿Qué tiempo lleva entrenando Taekwondo?.....
2. Indique que posturas de Poomsae Taegeuk 1 considera básicas.

() Are Makgui. () Ap chagui. () Ap Sogui. () Ap Kubi.

() Momthon Makgui. () Momthon baro jirigi. () Olgul Makgui.
3. ¿Señale que grado de dificultad ha tenido en el proceso de aprendizaje de Poomsae Taegeuk 1?

() Alto. () Medio. () Bajo.
4. ¿Emplea dispositivos tecnológicos como complemento para evaluar su entrenamiento?

SI NO

En caso de ser afirmativa su respuesta señale que tipo de dispositivos

.....

5. **¿Usted utilizaría un sistema de captura de movimiento en su entrenamiento, para identificar errores de postura?**

SI

NO

6. **Según su opinión, la idea de utilizar un sistema de captura de movimiento para identificar errores de postura en el entrenamiento de Poomsae Taegeuk 1 es:**

() Eficiente. () Muy Buena. () Media. () Regular.

7. **De acuerdo con su criterio un sistema de captura de movimiento debe evaluar:**

() Posturas específicas. () Actividades dinámicas.

8. **Señale que aspectos se deberían evaluar en la ejecución de Poomsae Taegeuk 1.**

() Coordinación. () Ritmo. () Fuerza.

9. **Según su opinión en que grupo(s) de edad(es) se debería emplear un sistema de captura de movimiento para evaluar las posturas básicas de Poomsae Taegeuk 1.**

.....

Tabulación de resultados.

Pregunta 1

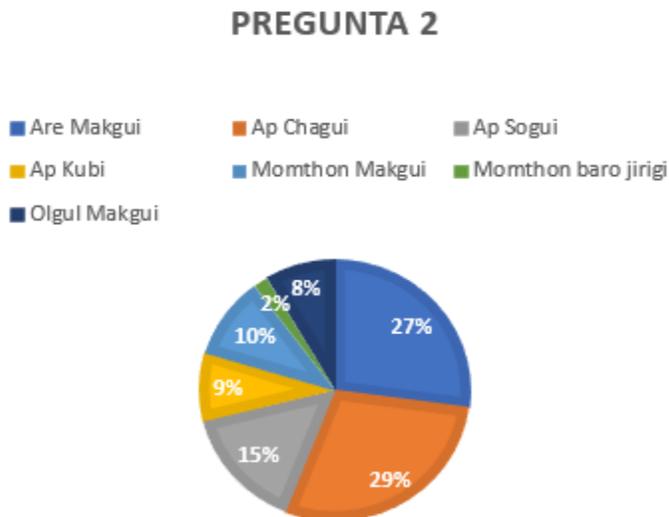
¿Qué tiempo lleva entrenando Taekwondo?



En la recopilación de datos se obtuvo un mayor porcentaje de información de deportistas que ya se encuentran entrenando más de un año, lo cual beneficia a la presente investigación por la experiencia que poseen los encuestados.

Pregunta 2

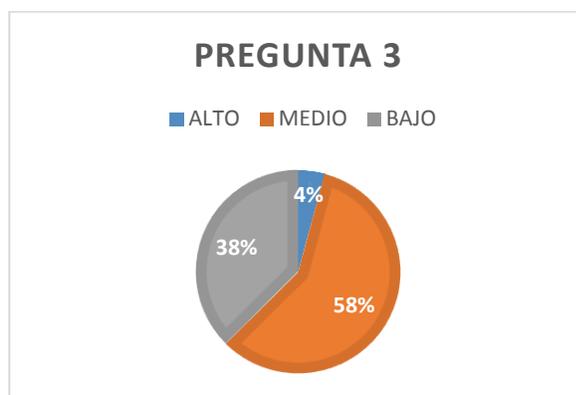
Indique que posturas de Poomsae Taegeuk 1 considera básicas



El 29% de los encuestados señalan Ap Chagui como una de las posturas básicas de Poomsae Taegeuk 1, mientras que un 27% señalan a Are Makgui, 15% Ap Sogui, 10% Momthon Makgui, 9% Ap kubi, 8% Olgul Makgui, 2% Momthon baro jirigi.

Pregunta 3

¿Señale que grado de dificultad ha tenido en el proceso de aprendizaje de Poomsae Taegeuk 1?



El 58% de los deportistas tuvieron un nivel medio de dificultad en el proceso de aprendizaje de Poomsae Taegeuk 1.

Pregunta 4

¿Emplea dispositivos tecnológicos como complemento para evaluar su entrenamiento?



El 75% de los encuestados no emplean dispositivos tecnológicos como complemento para evaluar su entrenamiento, el 25% emplean dispositivos como son: celular, computador, cámara de video, pulsómetro.

Pregunta 5

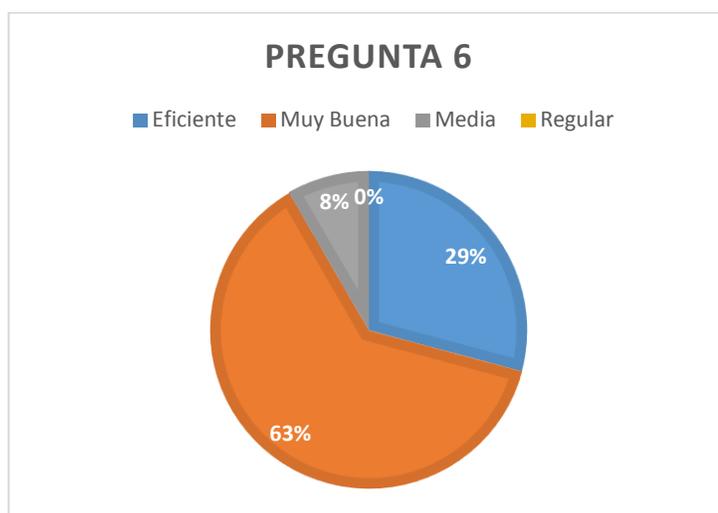
¿Usted utilizaría un sistema de captura de movimiento en su entrenamiento, para identificar errores de postura?



La mayor parte de los encuestados respondieron que, si utilizaran un sistema de captura de movimiento, para identificar errores de postura.

Pregunta 6

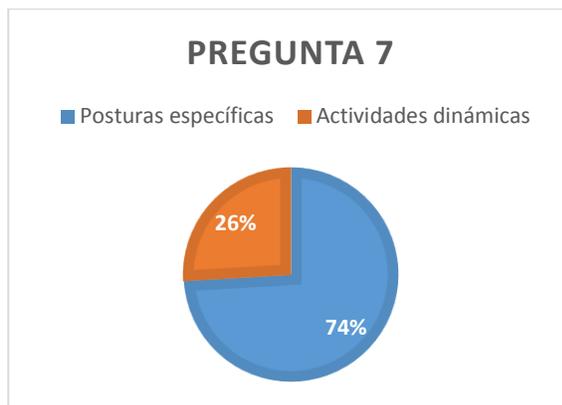
Según su opinión, la idea de utilizar un sistema de captura de movimiento para identificar errores de postura en el entrenamiento de Poomsae Taegeuk 1 es:



Los entrevistados señalan como muy buena y eficiente la idea de utilizar un sistema de captura de movimiento para identificar errores de postura en el entrenamiento de Poomsae Taegeuk 1.

Pregunta 7

De acuerdo con su criterio un sistema de captura de movimiento debe evaluar:



Un 74% de los encuestados señala que el sistema de captura de movimiento debe evaluar posturas específicas.

Pregunta 8

Señale que aspectos se deberían evaluar en la ejecución de Poomsae Taegeuk 1.



El 62% de los encuestados señalan que se debería evaluar la coordinación en la ejecución de Poomsae Taegeuk 1.

Pregunta 9

Según su opinión en que grupo(s) de edad(es) se debería emplear un sistema de captura de movimiento para evaluar las posturas básicas de Poomsae Taegeuk 1.



De acuerdo con los resultados obtenidos se determina que el sistema de captura de movimiento se debería emplear en edades superiores a los 10 años.

Anexo E. Evaluación experto.

A continuación, se indica el registro de la prueba de funcionamiento del sistema, antes de la depuración de errores. En dicho registro se detalla la evaluación del experto.

No	Evaluación experto		
	Universidad Técnica del Norte	✓	81
	Club de Taekwondo	✓	81
	Registro pruebas de funcionamiento del sistema de captura de movimiento para asistir el entrenamiento del club de taekwondo de la Universidad Técnica del Norte	✓	82
		✓	83
		✓	84
		✓	85
		✓	86
		✓	87
		✓	88
		✓	89
		✓	90
		✓	91
		✓	92
		✓	93
		✓	94
		✓	95
		✓	96
		✓	97
		✓	98
		✓	99
		✓	100
		✓	101
		✓	102
		✓	103
		✓	104
		✓	105
		✓	106
		✓	107
		✓	108
		✓	109
		✓	110
		✓	111
		✓	112
		✓	113
		✓	114
		✓	115
		✓	116
		✓	117

18	v	Universidad Técnica del Norte	
19	v	Club de Fútbol	
20	v	Registro General de Inmigrantes del Estado de	
21	v	Registro General de Inmigrantes del Estado de	
22	F	Club de Fútbol de la Universidad de	
23	F	del Norte	
24	v		
25	Ac	Producción Agrícola	No
26	v	Ac	1
27	v	F	2
28	v	v	3
29	v	v	4
30	v	Ac	5
31	F	Ac	6
32	F	F	7
33	v	F	8
34	v	F	9
35	v	v	10
36	v	v	11
37	v	v	12
38	v	v	13
39	F	v	14
40	F	v	15
41	F	v	16
42	v	v	17



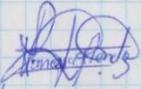
43 ✓
 44 ✓
 45 ✓
 46 ✓
 47 ✓
 48 ✓

• Considero que el sistema, algunas veces no logra detectar los movimientos cuando se los ejecuta muy rápido.

No los capta cuando hay demasiado brillo.

El cuajeto parpadea muchas veces en algunas ocasiones.

A veces el movimiento monton Crigui o puña a la zona media, no es captado por ubicarse en el centro del cuerpo, además el aremaki por ser un movimiento que está en la línea media del cuerpo y estar en la mitad de la pierna se pierdo al ser enfocada.


 Leneaa Méndez
 100277640-7
 Instructora TKD.



Anexo F. Resultados evaluación por postura.

A continuación, se indica el registro de las pruebas por postura a entrenar de la aplicación. En dicho registro se detalla la evaluación del experto en el tiempo que fue probado el sistema en el club de Taekwondo de la "UTN".

Universidad Técnica del Norte
Club de Taekwondo

Registro pruebas por postura.

• Are maki (defensa baja)		• Monthom Chigui (puño al medio)	
1	si	si	
2	si	si	
3	si	si	
4	si	si	
5	no x	no x	
6	no x	si	
7	si	si	
8	si	si	
9	si	si	
10	si	si	
11	si	si	
12	si	si	
13	si	no x	
14	si	si	
15	si	si	
16	si	si	
17	si	si	
18	si	si	
19	no x	si	
20	si	si	
21	si	si	
22	no x	si	
23	si	si	
24	si	si	
25	si	si	
26	si	si	
27	si	no x	
28	si	si	
29	si	si	
30	si	si	

Ugel Maki (defensa alta)		Menthom Maki (defensa m)	
1	si	si	
2	si	si	
3	si	si	
4	si	si	
5	si	si	
6	si	si	
7	si	si	
8	si	no	X
9	si	si	
10	si	si	
11	si	si	
12	si	si	X
13	no	si	X
14	si	si	
15	si	si	
16	si	si	
17	si	si	
18	si	si	
19	si	no	X
20	si	si	
21	si	si	
22	si	si	
23	si	si	
24	si	si	
25	si	si	
26	si	si	X
27	si	si	
28	no	si	
29	si	si	X
30	si	si	

[Handwritten signature]
100277640-7



Figura 1. Registro de la evaluación del experto

Las imágenes mostradas a continuación, fueron capturadas en la etapa de evaluación del sistema por parte del experto Lic. Vanessa Méndez, instructora de Taekwondo club “UTN”.



Figura 2. Instructor TKD Vanessa Méndez.



Figura 3. Instructor club de TKD UTN.



Figura 4. Sistema trabaja bajo supervisión instructor.



Figura 5. Revisión resultado del sistema por parte del experto.

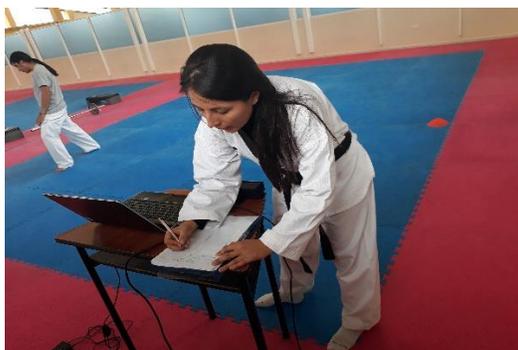


Figura 6. Registro de evaluación por parte de la profesora del club.

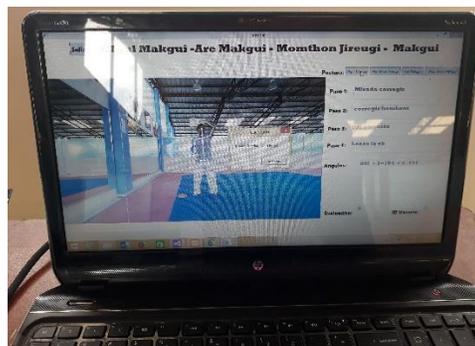


Figura 7. Evaluación final del sistema.

A continuación, se presenta las imágenes capturadas por Kinect al momento de entrenamiento de la postura Are Makgui (defensa baja). Estos son algunos ejemplos de las pruebas realizadas con la colaboración de los deportistas del club.



Figura 8. Deportista edad 13 años cinturón rojo – azul.



Figura 9. Deportista edad 11 años cinturón blanco amarillo.



Figura 10. Deportista edad 13 años cinturón azul.



Figura 11. Deportista edad 23 años cinturón rojo.



Figura 12. Deportista edad 11 años cinturón azul.



Figura 13. Deportista edad 25 años cinturón azul.

A continuación, se presenta las imágenes capturadas por el sistema al entrenar la postura Momthon Makgui (defensa media)



Figura 14. Deportista edad 25 años cinturón azul.



Figura 15. Deportista edad 36 años cinturón negro 1er Dan.



Figura 16. Deportista edad 11 años cinturón blanco amarillo.



Figura 17. Deportista edad 14 años cinturón verde.



Figura 18. Deportista edad 13 años cinturón rojo – azul.



Figura 19. Deportista edad 24 años cinturón amarillo, presentación canal universitario.

A continuación, se presenta las imágenes capturadas por el sistema al entrenar la postura Momthon Jirugui (Golpe de puño).



Figura 20. Deportista edad 25 años cinturón azul.



Figura 21. Deportista edad 36 años cinturón negro 1er Dan.



Figura 22. Deportista edad 11 años cinturón azul.



Figura 23. Deportista edad 11 años cinturón blanco amarillo.



Figura 24. Deportista edad 13 años cinturón rojo - azul.



Figura 25. Deportista edad 13 años cinturón azul.

Posteriormente, se presenta las imágenes capturadas por el sistema al entrenar la postura Olgul Makgui (Defensa alta).



Figura 26. Deportista edad 36 años cinturón negro 1er Dan.



Figura 27. Deportista edad 13 años cinturón rojo-azul.



Figura 27. Deportista edad 13 años cinturón azul.



Figura 28. Deportista edad 24 años cinturón amarillo.



Figura 29. Deportista edad 26 años cinturón negro.



Figura 30. Deportista edad 22 años cinturón amarillo.