



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“Análisis del Movimiento de la Cabeza y Hombros de una persona como apoyo al diagnóstico en el tratamiento de traumatismo cervical utilizando técnicas de Visión por Computador”

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO EN CIENCIAS COMPUTACIONALES

ORIENTACIÓN SISTEMAS MULTIMEDIA

Presentado por:

Luis Fernando León Segarra

César Alfonso López Pinargote

Guayaquil – Ecuador

AÑO

2015

AGRADECIMIENTO

A todos los profesores que supieron inculcarme conocimientos durante mi paso por la universidad.

A mi familia y amigos por su soporte durante todo este tiempo.

Luis, César

DEDICATORIA

A **Dios**, por guiarme y darme la sabiduría para permitirme culminar una etapa muy importante en mi vida.

A mis padres y hermanos por su amor, comprensión y apoyo incondicional con el fin de lograr a alcanzar esta meta.

Luis

DEDICATORIA

A Dios, *por haberme dado la fuerza para llegar hasta donde estoy y lograr mis objetivos.*

A mis familiares, *a mis padres, hermanos, tíos y todos los que me apoyaron en los momentos difíciles y me aconsejaron para tomar las mejores decisiones. ¡Gracias a ustedes!*

A mis amigos *quienes compartieron conmigo los éxitos y desafíos de la vida universitaria.*

César

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

M.Sc. Sara Ríos.

PRESIDENTE

Ph.D. Boris Vintimilla.

DIRECTOR DE TESIS

M.Sc. Gonzalo Luzardo

MIEMBRO PRINCIPAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Luis Fernando León Segarra

César Alfonso López Pinargote

RESUMEN

Hoy en día es muy común encontrarnos con personas que sufren afecciones a nivel de la cabeza y cuello en donde el procedimiento de rehabilitación para este tipo de afecciones es mediante tratamientos de rehabilitación física, los cuales en la actualidad son supervisados por el médico fisioterapeuta cuyo diagnóstico se emite en base a datos cualitativos y la experiencia del médico.

En la actualidad, en el campo de la medicina existen diversas aplicaciones que hacen uso de técnicas y métodos de visión por computador. En este proyecto se desarrolló una herramienta que sirve de apoyo en la elaboración del diagnóstico del proceso de rehabilitación en personas que padecen de traumatismo cervical, la herramienta desarrollada es basada en el uso de técnicas de visión artificial.

En el campo de las rehabilitaciones físicas a nivel del cuello, se utilizan distintas terapias que emplean ejercicios físicos para el fortalecimiento de la zona afectada. En este trabajo se realizó un análisis de cada uno de estos ejercicios y se extrajeron características de mayor interés, tales como ángulos, tiempos y velocidades de los movimientos.

Para lograr nuestro objetivo se dividió el proyecto en 4 módulos descritos a continuación:

1. Adquisición de la señal de video 3D: se encarga de capturar la escena 3D y presentar en tiempo real los movimientos de la cabeza y hombros, definiendo el área de interés a analizar.
2. Análisis de los movimientos de la cabeza y hombros: en esta se fase analiza cada una de las características de los movimientos tales como: ángulos y los espacios sobre los cuales operan.
3. Medición de parámetros: esta fase se encargará de detectar los movimientos que el paciente realiza con su cabeza, y medir las principales características de cada uno de ellos tales como: ángulos, velocidades y tiempos.
4. Recolección y visualización de datos: este módulo es el encargado de almacenar los datos de las principales características de cada movimiento y mostrar los datos obtenidos mediante gráficas de fácil entendimiento para el médico. Los datos visualizados son resultados que han sido obtenidos a lo largo del tiempo durante el tratamiento de rehabilitación del paciente.

Los resultados obtenidos permitieron elaborar un análisis del proceso de rehabilitación de un paciente mucho más detallado el cual generalmente es expresado en términos cualitativos, esto nos permitirá emitir un diagnóstico como por ejemplo: “podemos evidenciar que el paciente muestra una mejoría debido a que tiene una mayor movilidad”. Este diagnóstico se basa simplemente en la observación de la movilidad del paciente y en la

experiencia del médico, lo cual no deja de ser subjetivo, sin embargo con esta herramienta se pudo aportar datos de tipo cuantitativos a dicho diagnóstico, tales como los ángulos de apertura máximos y mínimos de los ejercicios así como los tiempos y las velocidades de ejecución de cada uno de ellos.

Esta herramienta nos permitió emitir un diagnóstico con mayor exactitud ya que nos presenta dos tipos de resultados: los resultados parciales o por terapia y los generales acumulados de todas las terapias a lo largo del proceso de rehabilitación, los cuales nos permiten realizar comparaciones entre las diferentes terapias durante todo el tratamiento de rehabilitación.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	VI
ÍNDICE GENERAL.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIV
ÍNDICE DE TABLAS	XX
INTRODUCCIÓN	XXII
CAPÍTULO 1	1
ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN	1
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.1.1. Movimiento de cabeceo.....	4
1.1.2. Movimiento de balanceo.....	5
1.1.3. Movimiento de guiño	6
1.1.4. Movimiento de levantamiento de hombros	6
1.1.5. Movimiento de remo	7
1.2. METODOLOGÍA	9
1.2.1. Adquisición de la Señal de video 3D	9
1.2.2. Extracción y reconocimiento.....	10
1.2.3. Seguimiento y medición de puntos característicos.....	11

1.2.4. Modelado 3D	11
1.2.5. Recolección y visualización de resultados.....	12
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	12
1.4. OBJETIVOS.....	14
1.4.1. Objetivos Generales	14
1.4.2. Objetivos Específicos	14
1.5. ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO.....	15
1.6. CONTRIBUCIONES	17
CAPÍTULO 2.....	18
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	18
2.1. TRAUMATISMO CERVICAL	18
2.2. SENSOR KINECT	22
2.3. KINECT SDK	25
2.4. SEGUIMIENTO DE LA CABEZA	26
2.5. WPF (<i>WINDOWS PRESENTATION FOUNDATION</i>).....	32
2.6. MYSQL	34
2.7. <i>ENTITY FRAMEWORK</i>	36
CAPÍTULO 3.....	39
ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA.....	39

3.1. REQUERIMIENTOS FUNCIONALES.....	40
3.2. REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES	42
3.3. CASOS DE USO	44
3.4. DISEÑO DEL SISTEMA	65
CAPÍTULO 4.....	70
SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE LA SEÑAL DE VIDEO 3D.....	70
4.1. CONDICIONES DEL ÁREA DE TRABAJO Y MONTAJE	71
4.2. INSTALACIÓN DEL SDK DE KINECT.....	76
4.2.1. Pasos previos a la instalación	77
4.2.2. Pasos de Instalación Kinect SDK 1.6	78
4.2.3. Verificar instalación Kinect SDK 1.6	80
4.3. INSTALACIÓN DEL KIT DE DESARROLLO DE KINECT	81
4.3.1. Pasos previos a la instalación del kit de desarrollo de Kinect	82
4.3.2. Pasos de instalación del kit de desarrollo de Kinect.....	83
4.4. CALIBRACIÓN DEL SENSOR KINECT	86
4.4.1. Definición de umbrales de medición.....	86
4.4.2. Ángulos de inclinación del sensor Kinect	87
CAPÍTULO 5.....	90
ANÁLISIS DE LOS MOVIMIENTOS DE LA CABEZA Y HOMBROS.....	90

5.1. ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO DE CABECEO	91
5.2. ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO DE GUIÑO	95
5.3. ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO DE BALANCEO	98
5.4. ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO DE LEVANTAMIENTO DE HOMBROS	100
5.5. ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO DE REMO	102
CAPÍTULO 6.....	104
MEDICIÓN DE PARÁMETROS	104
6.1. OBTENCIÓN DEL CENTRO DE LA NARIZ	104
6.2. DETECCIÓN DE CICLOS DEL MOVIMIENTO	106
6.3. CÁLCULO DE ÁNGULOS DE APERTURA.....	109
6.4. CÁLCULO DE ÁNGULO DE APERTURA CABECEO, BALANCEO Y GUIÑO.....	110
6.5. MEDICIÓN DE TIEMPO Y VELOCIDAD DE LOS EJERCICIOS...	121
CAPÍTULO 7.....	124
RECOLECCIÓN Y VISUALIZACIÓN DE RESULTADOS.....	124
7.1. ESTRUCTURAS DE ALMACENAMIENTO DE RESULTADOS	125
7.2. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS PARCIALES	126

7.3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS GENERALES O HISTÓRICOS	
135	
7.4. RESULTADOS EXPERIMENTALES	150
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	155
BIBLIOGRAFÍA.....	160

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Ejercicio cabeceo.....	4
Figura 1.2 – Ejercicio balanceo.....	5
Figura 1.3 – Ejercicio guiño.	6
Figura 1.4 – Ejercicio levantamiento de hombros.	6
Figura 1.5 – Ejercicio remo.	7
Figura 1.6 – Kinect para Windows.	10
Figura 1.7 – Extracción de características.	10
Figura 1.8 – Medición de parámetros.	11
Figura 1.9 – Modelado 3D.	11
Figura 2.1 – Ejercicio cabeceo.....	21
Figura 2.2 – Ejercicio levantamiento de hombros.	21
Figura 2.3 – Ejercicio remo.	22
Figura 2.4 – Ejercicio balanceo.....	22
Figura 2.5 – Ejercicio guiño.	22
Figura 2.6 – Componentes internos del Kinect.....	24
Figura 2.7 – Gráfica de <i>Skeleton</i>	27
Figura 2.8 – Plano <i>FaceTracking</i>	28
Figura 2.9 – Puntos proporcionados por la clase <i>FaceTracking</i>	29
Figura 2.10 – Ángulos generados por el movimiento de la cabeza.....	30
Figura 2.11 – Posiciones de la nariz.	31
Figura 2.12 – Características de WPF.....	34

Figura 2.13 – Arquitectura de <i>Entity Framework</i>	38
Figura 3.1 – Partes del análisis y diseño del sistema.	39
Figura 3.2 - Vista lógica del sistema	65
Figura 3.3 – Modelo entidad-relación de la aplicación.....	69
Figura 4.1 – Iluminación incorrecta del área de trabajo.	72
Figura 4.2 – Correcta ubicación del Kinect.	75
Figura 4.3 – Área correcta de ubicación del Kinect.....	75
Figura 4.4 – Correcta colocación del Kinect.	76
Figura 4.5 – Superficie correcta de ubicación del Kinect.	76
Figura 4.6 – Kinect SDK.	77
Figura 4.7 – Instalador Kinect SDK.....	78
Figura 4.8 – Contrato de instalación del Kinect SDK.	78
Figura 4.9 – Aceptación del contrato de instalación del Kinect SDK.....	79
Figura 4.10 – Progreso de instalación del Kinect SDK.	79
Figura 4.11 – Finalización de la instalación del Kinect SDK.	80
Figura 4.12 – Kinect Developer Toolkit.....	82
Figura 4.13 – Instalador de Kinect Developer Toolkit.	82
Figura 4.14 – Contrato de instalación del <i>Kinect Developer Toolkit</i>	83
Figura 4.15 – Aceptación del contrato de instalación del <i>Kinect Developer Toolkit</i>	84
Figura 4.16 – Progreso de instalación del <i>Kinect Developer Toolkit</i>	84
Figura 4.17 – Finalización de instalación del <i>Kinect Developer Toolkit</i>	85

Figura 4.18 – Programa demostración del <i>Kinect Developer Toolkit</i>	86
Figura 4.19 – Sistema no calibrado.	88
Figura 4.20 – Sistema calibrado.	89
Figura 5.1 – Plano del movimiento de cabeceo.	92
Figura 5.2 – Centro de la cabeza.....	93
Figura 5.3 – Punto de interés nariz.	94
Figura 5.4 – Punto de interés nariz con planos XZ.	94
Figura 5.5 – Semi-ciclos para el movimiento de cabeceo.....	95
Figura 5.6 – Plano del movimiento de guiño.....	96
Figura 5.7 – Puntos de interés para el movimiento de guiño.	96
Figura 5.8 – Semi-ciclos del movimiento de guiño.....	97
Figura 5.9 – Plano del movimiento de balanceo.	98
Figura 5.10 – Puntos de interés para el movimiento de balanceo.	99
Figura 5.11 – Semi-ciclos para el movimiento de balanceo.....	100
Figura 5.12 – Punto de interés para el movimiento de levantamiento de hombros.....	101
Figura 5.13 – Centro de coordenadas para el movimiento de levantamiento de hombros.....	101
Figura 5.14 – Centro de coordenadas para el movimiento de remo.	102
Figura 6.1 – Vector de ángulos para el cálculo del centro de la nariz.....	105
Figura 6.2 – Vector de ángulos.....	107
Figura 6.3 – Estimación de ciclos.	107

Figura 6.4 – Secuencia de un ciclo del movimiento.....	108
Figura 6.5 – Traslación de ejes.....	110
Figura 6.6 – Cálculo de ángulo de apertura para el movimiento de cabeceo.	111
Figura 6.7 – Cálculo de ángulo de apertura para el movimiento de balanceo.	112
Figura 6.8 – Cálculo de ángulo de apertura para el movimiento de guiño..	112
Figura 6.9 – Triángulo de Pitágoras.....	113
Figura 6.10 – Ángulos del movimiento de levantamiento de hombros.....	117
Figura 6.11 – Ángulos en el plano del movimiento de levantamiento de hombros.....	118
Figura 6.12 – Triangulo de Pitágoras para el cálculo de ángulos de apertura.	119
Figura 6.13 – Ángulos en el plano del movimiento de remo.	120
Figura 6.13 – Representación de la velocidad angular.	122
Figura 6.14 – Cálculo velocidad angular.....	123
Figura 7.1 – Grafico de ángulos máximos y mínimos	127
Figura 7.2 – Vista de resultados parciales.	128
Figura 7.3 – Resultado parcial para el movimiento de guiño.	129
Figura 7.4 – Resultado parcial para el movimiento de balanceo.....	130
Figura 7.5 – Resultado parcial para el movimiento de cabeceo.....	131

Figura 7.6 – Resultado parcial para el movimiento de levantamiento de hombro derecho.....	132
Figura 7.7 – Resultado parcial para el movimiento de levantamiento de hombro izquierdo.	132
Figura 7.8 – Resultado parcial para el movimiento de remo derecho.	133
Figura 7.9 – Resultado parcial para el movimiento de remo izquierdo.	134
Figura 7.10 – Información del paciente.....	135
Figura 7.11 – Gráfico de barras de evolución del paciente.....	137
Figura 7.12 – Gráfico lineal de evolución del paciente.....	137
Figura 7.13 – Histórico – gráfico comparativo entre sesiones.	1398
Figura 7.14 – Histórico – barras para el movimiento de balanceo.	139
Figura 7.15 – Histórico – lineal para el movimiento de balanceo.....	14040
Figura 7.16 – Histórico – comparativo para el movimiento de balanceo.	14040
Figura 7.17 – Histórico – barras para el movimiento de guiño.....	1411
Figura 7.18 – Histórico - lineal para el movimiento de guiño.	1411
Figura 7.19 – Histórico - comparativo para el movimiento de guiño.	1412
Figura 7.20 – Histórico – barras para el movimiento de cabeceo.	1422
Figura 7.21 – Histórico – lineal para el movimiento de cabeceo.....	1433
Figura 7.22 – Histórico – comparativo para el movimiento de cabeceo....	1433
Figura 7.23 – Histórico - barras para el movimiento de levantamiento de hombro derecho.....	1444

Figura 7.24 – Histórico – lineal para el movimiento de levantamiento de hombro derecho.....	1455
Figura 7.25 – Histórico – barras para el movimiento de levantamiento de hombro izquierdo.	1455
Figura 7.26 – Histórico - lineal para el movimiento de levantamiento de hombro izquierdo.	1466
Figura 7.27 – Histórico - Comparativo para el movimiento de levantamiento de hombro.....	1466
Figura 7.28 – Histórico - barras para el movimiento remo derecho.	1477
Figura 7.29 – Histórico – lineal para el movimiento remo derecho.	1488
Figura 7.30 – Histórico – barras para el movimiento remo izquierdo.	1488
Figura 7.31 – Histórico – lineal para el movimiento remo izquierdo.....	149
Figura 7.32 – Histórico – comparativo para el movimiento remo de hombro.	149

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 – Valores y ángulos de rotación del Kinect.	30
Tabla 2 – Roles del sistema.....	42
Tabla 3 – Requerimientos no funcionales.	43
Tabla 4 – Listado de casos de uso.	45
Tabla 5 – Caso de uso 1.....	46
Tabla 6 - Caso de uso 2.....	47
Tabla 7 - Caso de uso 3.....	49
Tabla 8 - Caso de uso 4.....	50
Tabla 9 - Caso de uso 5.....	51
Tabla 10 - Caso de uso 6.....	53
Tabla 11 - Caso de uso 7.....	54
Tabla 12 - Caso de uso 8.....	56
Tabla 13 - Caso de uso 9.....	57
Tabla 14 - Caso de uso 10.....	59
Tabla 15 - Caso de uso 11.....	60
Tabla 16 - Caso de uso 12.....	62
Tabla 17 - Caso de uso 13.....	63
Tabla 18 - Caso de uso 14.....	64

Tabla 19 – Resultados paciente 1.....	151
Tabla 20 – Resultados paciente 2.....	152
Tabla 21 – Resultados paciente 3.....	153
Tabla 22 – Resultado paciente 4	154

INTRODUCCIÓN

Este proyecto se basa en el desarrollo de un sistema que mediante técnicas de visión por computador permite analizar los movimientos de los hombros y cabeza de una persona, para apoyar con datos cuantitativos al diagnóstico de un médico fisioterapeuta en el proceso de rehabilitación de pacientes que padecen traumatismo cervical.

Uno de los traumatismos que emplea ejercicios de cabeza y hombros como parte de su rehabilitación es el traumatismo cervical. Este tipo de traumatismo se da por la aceleración y desaceleración a nivel de cuello, normalmente asociado por colisiones vehiculares. Vamos a enfocarnos y analizar este tipo de traumatismo y los ejercicios que se emplean en el proceso de rehabilitación para lograr recuperar la movilidad del paciente, monitoreando y midiendo los parámetros necesarios para determinar su progreso.

En la actualidad el uso de las nuevas tecnologías en el campo de la visión por computador nos permite poder realizar este tipo de análisis. Sensores los cuales mediante cámaras nos facilitan la captura de la señal de video en 3D.

El proyecto utiliza estas herramientas para poder mediante algoritmos obtener los valores cuantitativos necesarios para poder medir los resultados de la rehabilitación de los pacientes.

Como resultado se tendrá una herramienta que aporta con valores cuantitativos al médico fisioterapeuta para poder emitir un diagnóstico más preciso.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

Este capítulo presenta una descripción global del proyecto, así como también la importancia e impacto que puede tener su aplicación en el campo de las Rehabilitaciones Fisioterapéuticas de personas con problemas de motricidad a nivel de la cabeza específicamente personas con trauma cervical.

La palabra trauma proviene del griego **τραῦμα** que significa herida o también conocida como lesión, se puede definir trauma como una herida o lesión física, tal como una fractura o golpe, entonces un trauma cervical es una lesión grave en el cuello, bien sea por golpes fuertes o por heridas penetrantes, para efectos de nuestro estudio nos

vamos a enfocar en los traumatismos causados por golpes fuerte específicamente aquellos que provocan el síndrome del latigazo (*Whiplash*), el cual generalmente se presenta por accidentes de tránsito cuya tasa de mortalidad en nuestro país es alta, hasta junio del 2012 se tenía una media de 33 muertos por cada 100000 habitantes.

El síndrome del latigazo (*Whiplash*) es el resultado de golpes fuertes cerrados en la columna cervical con elongación en los ligamentos debido a un proceso de aceleración-desaceleración producido usualmente en un accidente de tránsito por impactos posteriores.

El traumatismo cervical causa dolor local intenso en la zona del cuello, con contractura muscular y limitación dolorosa de la movilidad. Puede acompañarse de vértigo o sensación de inestabilidad, y dolor referido a la nuca o el brazo.

A menudo los doctores que hacen el seguimiento de avances en la rehabilitación del paciente lo realizan de manera empírica y hasta muchas veces subjetiva, ya que el diagnóstico se lo realiza en base a la experiencia y observaciones del médico.

Para restarle la subjetividad y mayor precisión al diagnóstico, se plantea un sistema que permitirá analizar el movimiento de la cabeza enfocándonos en los puntos más importantes para el movimiento, ayudados con las facilidades que nos brinda el Kinect. El Kinect es un dispositivo de hardware que nos ayuda con la captura de video, con esta herramienta podemos lograr realizar la captura de la señal de video en 3D a una distancia de hasta 80 centímetros. Lo que nos permitirá dar valoraciones con un mayor grado de certeza en base a los resultados proporcionados por dicho sistema en tiempo real. Resultados que se irán guardando en una base de datos para luego ser analizados y presentados de una forma más clara mediante el uso de gráficas estadísticas, las cuales dan una idea de la evolución del paciente.

Además, en este capítulo se detallan las bases sobre las cuales se justifica el proyecto y el aporte que este brinda al avance de la investigación en el campo de la medicina utilizando técnicas de visión por computador. Así mismo, describe los objetivos generales y específicos del proyecto.

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Hoy en día son muy frecuentes los accidentes de tránsito o accidentes que comprometen la parte superior del cuerpo específicamente las zona del cuello y hombros, lo que produce el llamado traumatismo cervical, el mismo que causa dolor local intenso en la zona del cuello, con contractura muscular y limitación dolorosa de la movilidad.

Para la recuperación de la movilidad del paciente, los médicos recomiendan una rehabilitación física controlada con el objetivo de fortalecer la zona afectada, las terapias de rehabilitación constan de un conjunto de ejercicios, los mismos que serán detallados a continuación.

1.1.1. Movimiento de cabeceo

Este movimiento consiste en inclinar la cabeza hacia atrás (mirando hacia arriba), y luego inclinar la cabeza hacia delante (mirando hacia abajo), tal como ilustra la Figura 1.1.

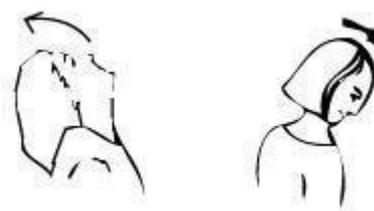


Figura 1.1 – Ejercicio cabeceo.

Para este movimiento las características de interés y en las cuales se enfoca este análisis son:

- Tiempo del movimiento.
- Ángulo de inclinación.
- Velocidad.

1.1.2. Movimiento de balanceo

En este movimiento la persona inclina la cabeza en dirección al hombro (como si intentara alcanzar con la oreja el hombro pero sin levantarlo), véase Figura 1.2.

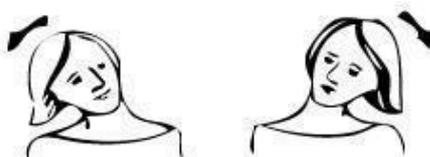


Figura 1.2 – Ejercicio balanceo.

Para este movimiento las características de interés y en las cuales se enfoca este análisis son:

- Tiempo del movimiento.
- Ángulo de inclinación.
- Velocidad.

1.1.3. Movimiento de guiño

Este movimiento consiste en girar la cabeza para mirar sobre el hombro, tal como se ilustra en la Figura 1.3.

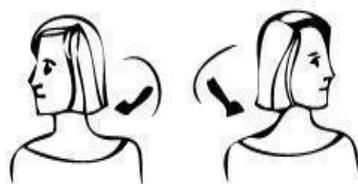


Figura 1.3 – Ejercicio guiño.

Para este movimiento las características de interés y en las cuales se enfoca este análisis son:

- Tiempo del movimiento.
- Ángulo de inclinación.
- Velocidad.

1.1.4. Movimiento de levantamiento de hombros

Este movimiento consiste en mover los hombros de arriba hacia abajo, véase Figura 1.4.

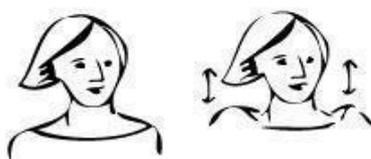


Figura 1.4 – Ejercicio levantamiento de hombros.

Para este movimiento las características de interés y en las cuales se enfoca este análisis son:

- Tiempo del movimiento.
- Ángulo de apertura de los hombros.
- Velocidad.

1.1.5. Movimiento de remo

La persona debe mover los hombros hacia delante y hacia atrás, como se muestra en la Figura 1.5.

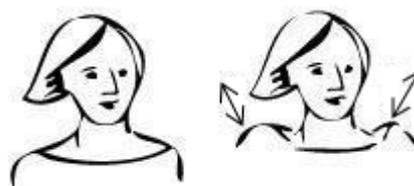


Figura 1.5 – Ejercicio remo.

Para este movimiento las características de interés y en las cuales se enfoca este análisis son:

- Tiempo del movimiento.
- Ángulo de apertura de los hombros.
- Velocidad.

El diagnóstico que emite el médico fisioterapeuta lo realiza en base a una medición de tipo cualitativa, ya que este se apoya en la

observación de cada una de las terapias para emitir un diagnóstico, lo cual no deja de ser subjetivo, ya que es basado en su percepción y experiencia.

Para restarle la subjetividad y brindar mayor precisión al diagnóstico que emite el médico, se plantea un sistema que permita analizar el movimiento de la cabeza y hombros de una persona mediante la extracción de las características más importantes del movimiento, ayudados con las facilidades que nos brinda el Kinect.

El Kinect es un dispositivo de hardware que permitirá la captura de video, con esta herramienta se puede lograr realizar la captura de la señal de video en 2D y 3D a una distancia desde 70 centímetros. Lo que nos permitirá dar valoraciones con un mayor grado de certeza en base a los resultados proporcionados por dicho sistema en tiempo real.

Los datos generados por el sistema serán almacenados en una base de datos para luego ser analizados y presentados de una forma más clara mediante el uso de gráficas estadísticas, las cuales van a dar una idea más precisa de la evolución del paciente en su proceso de rehabilitación.

1.2. METODOLOGÍA

La primera etapa de este proyecto de graduación consiste de la revisión bibliográfica, en esta etapa se abarcan temas como la adquisición de la señal de video 2D y 3D con el Kinect para Windows, métodos del SDK de Kinect para el reconocimiento y seguimiento de la cabeza así como también los procedimientos y funciones para la realización del modelado 3D.

1.2.1. Adquisición de la Señal de video 3D

Una vez realizada la revisión bibliográfica y abarcado todos los puntos antes mencionados, el primer paso es la adquisición de la señal de video 2D y 3D, este módulo se encargará de la captura de la escena 3D, el montaje del área de trabajo en donde se definirán las condiciones de la misma tales como la iluminación, distancias de trabajo y calibración del sensor Kinect con la finalidad de obtener un mayor ángulo de visión y cobertura del objetivo.

En la siguiente Figura 1.6 podemos observar el dispositivo que se va utilizar para realizar la adquisición.



Figura 1.6 – Kinect para Windows.

1.2.2. Extracción y reconocimiento

Luego de adquirir la señal de video 3D se procede a extraer la región de interés, la misma que para nuestro análisis es la cabeza. Una vez capturada la cabeza de la persona se realiza la detección de la nariz y la posición de su punto medio, ya que esta va a servir para realizar el seguimiento y medición de los parámetros de ángulo, tiempo y velocidad del movimiento. Para esta etapa el módulo de *Facetracking* proporcionado por el SDK del Kinect para Windows es utilizado, véase Figura 1.7.



Figura 1.7 – Extracción de características.

1.2.3. Seguimiento y medición de puntos característicos

Una vez extraída la región de interés y detectada la posición de la nariz, entra en funcionamiento el módulo de seguimiento y medición en el cual se va a proceder a darle seguimiento a la cabeza y hombros con el objetivo de medir los parámetros de interés que son ángulo, tiempo y velocidad del movimiento como observamos en la Figura 1.8.

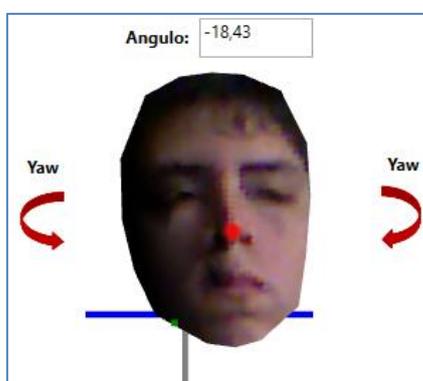


Figura 1.8 – Medición de parámetros.

1.2.4. Modelado 3D

Con el fin de que exista una mejor visualización de la parte del cuerpo en movimiento sobre la cual se centra el análisis, se consideró adherir a la metodología un módulo que nos permita realizar la representación de la cabeza de la persona en 3D, como se aprecia en la Figura 1.9.

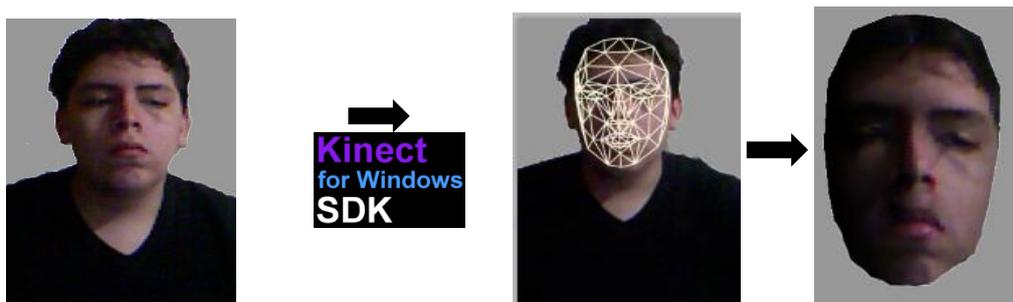


Figura 1.9 – Modelado 3D.

1.2.5. Recolección y visualización de resultados

Finalmente, tenemos el módulo de recolección y visualización de datos. En este módulo presentaremos en forma de gráficos los datos que hemos almacenado en cada una de las terapias del paciente, brindándole al médico una ayuda al momento de emitir su diagnóstico.

Existen dos tipos de visualización de datos:

- Visualización de datos parciales o por terapia.
- Visualización de datos generales o históricos.

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Este proyecto contribuye al fortalecimiento de los trabajos de investigación y desarrollo de ESPOL, en el área médica dentro del campo de la rehabilitación física y visión por computador, incentivando también el desarrollo de nuevos proyectos de investigación enfocados al área de rehabilitación física de las distintas partes del cuerpo humano, implementando algoritmos de reconocimiento de estas en ambientes 3D.

Hoy en día son cada vez más frecuentes los problemas de traumatismo cervical los cuales generan fuertes dolores e imposibilidad de movimiento del área afectada, para este tipo de

afecciones existen tratamientos de rehabilitación cuyo objetivo es fortalecer la zona afectada y recuperar la movilidad, las personas que padecen este síntoma son sometidas a terapias de rehabilitación física supervisada por un médico fisioterapeuta, el cual se basa en la observación para recuperar datos cualitativos en cada una de las terapias y emitir su diagnóstico.

El análisis de los datos recogidos en cada una de las terapias basadas en la observación del médico hacen que el diagnóstico sea subjetivo, ya que este va a variar dependiendo de la percepción y experiencia que tenga el médico fisioterapeuta.

Con este proyecto se espera potenciar el uso de los avances tecnológicos aprovechando los bajos costos que estos representan, ya que es posible utilizar estas herramientas para apoyar con tecnología el proceso de rehabilitación de un paciente que padece de traumatismo cervical.

Los resultados generados por el sistema con el uso de la tecnología le brindarán al médico una herramienta de medición cuantitativa de las características del movimiento, estos resultados cuantitativos serán acumulativos a lo largo de toda la rehabilitación de la persona, los

mismos que servirán para realizar comparaciones de su evolución a lo largo del tiempo.

Creemos firmemente, que este proyecto fomentará la investigación en ESPOL para que futuras generaciones desarrollen proyectos extrapolando nuestra investigación para analizar los movimientos de las diferentes partes del cuerpo y apoyar al diagnóstico de rehabilitación de las mismas.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivos Generales

Desarrollar un sistema que mediante el uso de técnicas de visión por computador permita analizar los movimientos de la cabeza y hombros de una persona, para apoyar con datos cuantitativos el diagnóstico de un médico fisioterapeuta en el tratamiento de traumatismo cervical de un paciente.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Implementar un módulo administrativo que permita crear, modificar y eliminar pacientes, doctores y tratamientos.
- Adquirir la señal de video 2D y 3D desde el sensor de imagen.

- Extraer y reconocer los puntos característicos de la cabeza y hombros de una persona.
- Medir parámetros como velocidad, tiempo y ángulos durante la realización de los ejercicios de: cabeceo, balanceo, guiño, levantamiento de hombros y remo.
- Modelar en una imagen 3D el movimiento de la cabeza que realiza el paciente durante los ejercicios de rehabilitación.
- Implementar un módulo de recolección y visualización de datos a partir de los movimientos de la cabeza y hombros del paciente durante su proceso de rehabilitación.

1.5. ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO

Para mejor comprensión del proyecto y todas sus partes se ha destinado dividirlo en 7 capítulos, a continuación detallamos el contenido de los mismos:

- **Capítulo I:** Se da una introducción del desarrollo y aplicación del proyecto, además de su respectiva justificación, importancia y la ayuda que este puede dar al entorno de la medicina.
- **Capítulo II:** Realiza un estudio bibliográfico de las diferentes técnicas existentes en el desarrollo de la detección de la cabeza y su seguimiento.

- Se realiza una descripción muy detallada del algoritmo escogido, características del hardware y software utilizados para la adquisición de imágenes, detección, seguimiento y diagnóstico de las características clínicas del traumatismo cervical.
- **Capítulo III:** Se realiza un análisis y diseño de los requerimientos funcionales y no funcionales que requiere el sistema.
- **Capítulo IV:** Se realiza la captura de la señal de video 3D, el montaje y la calibración del Kinect, especificando todos los parámetros para los cuales este va a operar.
- **Capítulo V:** Analiza cada una de las características de los movimientos de la cabeza y cuello del paciente de forma acertada y veraz.
- **Capítulo VI:** Medición de cada uno de los parámetros de interés tales como son: ángulos, velocidades y tiempos de cada uno de los ejercicios que forman parte del tratamiento de rehabilitación.
- **Capítulo VII:** Recolección y visualización de los resultados obtenidos del paciente usando la aplicación para su posterior procesamiento. Especifica la interpretación de los resultados

tomando en cuenta la información recopilada de las opiniones médicas y el sistema.

1.6. CONTRIBUCIONES

- En la actualidad, durante un proceso de rehabilitación las técnicas existentes son usualmente de apoyo o asistencia para el paciente. Este trabajo es de apoyo principalmente para el médico tratante, además también apoya al paciente.
- Permite realizar un análisis cuantitativo del proceso de rehabilitación del paciente. Almacena datos (terapias) generados a lo largo del tiempo y los visualiza cuantitativamente para un mejor análisis del médico.
- Este trabajo usa tecnología de bajo costo (Kinect).

CAPÍTULO 2

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En este capítulo se presenta un breve análisis bibliográfico acerca del comportamiento del síndrome de traumatismo cervical y los diferentes ejercicios físicos que se emplean en el proceso de rehabilitación de pacientes que sufren este tipo de afecciones.

En el capítulo también se presenta un breve análisis de las técnicas de detección, reconocimiento y seguimiento de los movimientos de la cabeza y las herramientas a utilizar que nos ayuden en la elaboración de este proyecto.

2.1. TRAUMATISMO CERVICAL

El principal objetivo de este proyecto es analizar cada uno de los ejercicios que se emplean en las rehabilitaciones físicas de pacientes

con traumatismo cervical, para entender de una mejor manera el problema que vamos a atacar debemos comprender el significado de la palabra traumatismo.

Según [14], el traumatismo cervical se define como una lesión grave en el cuello, bien sea por golpes contusos o por heridas penetrantes. Debido a la multitud de órganos y sistemas, como son las vías respiratorias, vasculares, neurológicas, gastrointestinales contenidos en el complejo y compacto espacio tubular que es el cuello, casi todos ellos son de importancia vital, el traumatismo de cuello es una causa frecuente de discapacidad y mortalidad en humanos y animales.

Pocas situaciones de emergencia plantean un desafío tan grande como el traumatismo de cuello. Además, ciertas heridas aparentemente inocuas que incluso se pueden causar sin manifestar signos o síntomas pueden posar riesgos potencialmente letales para el paciente.

El tipo de traumatismo en el que nos vamos a enfocar para analizar los ejercicios de rehabilitación es uno de los más comunes y es denominado síndrome de *whiplash* o traumatismo cervical.

Según [8] las lesiones del cuello por “aceleración-desaceleración” se reconocen por primera vez al introducir las aeronaves que decolaban con ayuda de un sistema de catapulta, por lo que muchos pilotos desarrollaban dolor en el cuello de tal gravedad que causaban baja médica del servicio.

Se observó que la lesión se debía a hiperextensión del cuello, producida por la aceleración súbita. Crowe en 1928 introdujo el término de “Latigazo”, dando una connotación maligna a la lesión y muchos pacientes quedaron más incapacitados por el diagnóstico que por la lesión. Se comprobó que aumentando la altura del respaldo del asiento para sostener la cabeza, podían prevenir las lesiones por extensión.

El término *whiplash* se refiere a los síntomas asociados a un mecanismo de aceleración y desaceleración a nivel del cuello, frecuentemente asociado a colisiones vehiculares, resultando con lesiones en hueso o tejidos blandos con una variedad de manifestaciones clínicas.

Mecanismo de lesión:

Si el vehículo choca contra otro por delante, se produce la desaceleración brusca, aumentando la velocidad con la que la cabeza es impulsada hacia adelante y produce también un movimiento del cuerpo hacia delante, de modo que la cabeza puede chocar contra el parabrisas provocando un severo traumatismo comúnmente llamado síndrome de *whiplash*. [7]

En [1], [17] y [19] se detallan algunos de los ejercicios que se emplean en la rehabilitación del traumatismo cervical, como podemos observar en las figuras 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 y 2.5.



Figura 2.1 – Ejercicio cabeceo.



Figura 2.2 – Ejercicio levantamiento de hombros.



Figura 2.3 – Ejercicio remo.



Figura 2.4 – Ejercicio balanceo.



Figura 2.5 – Ejercicio guiño.

2.2. SENSOR KINECT

Inicialmente el Kinect fue elaborado como un control de consola de juego (Xbox 360), en la actualidad se lo utiliza para convertir al usuario en el control, con la finalidad de brindar una mejor experiencia [9].

El Kinect ha tenido una gran acogida por los amantes de los juegos de video, los usuarios del Microsoft Xbox 360 lo utilizan principalmente para interactuar de manera más natural y sin la necesidad de controles en el momento de jugar.

Para nuestro proyecto el Kinect tiene una utilidad diferente, es decir toma los fundamentos básicos de lo que es Kinect pero enfocado de una manera diferente ya que utilizaremos sus fortalezas en hardware para el análisis de los movimientos de la cabeza y hombros.

El Kinect incorpora una combinación de diferentes sensores de entrada, estas son: una cámara web, un conjunto de micrófonos y lo más interesante una cámara infrarroja. Esto sigue la tendencia de los dispositivos de entrada de computación en que se permite a un usuario interactuar con los ordenadores en un creciente número de maneras [10].

Mientras que en los primeros días de interacción persona-ordenador se requería de una interfaz para escribir comandos por teclado para que el equipo responda, usando el sensor de Kinect ahora es posible para los usuarios interactuar con un ordenador de una manera mucho más natural, intuitiva y sensible.

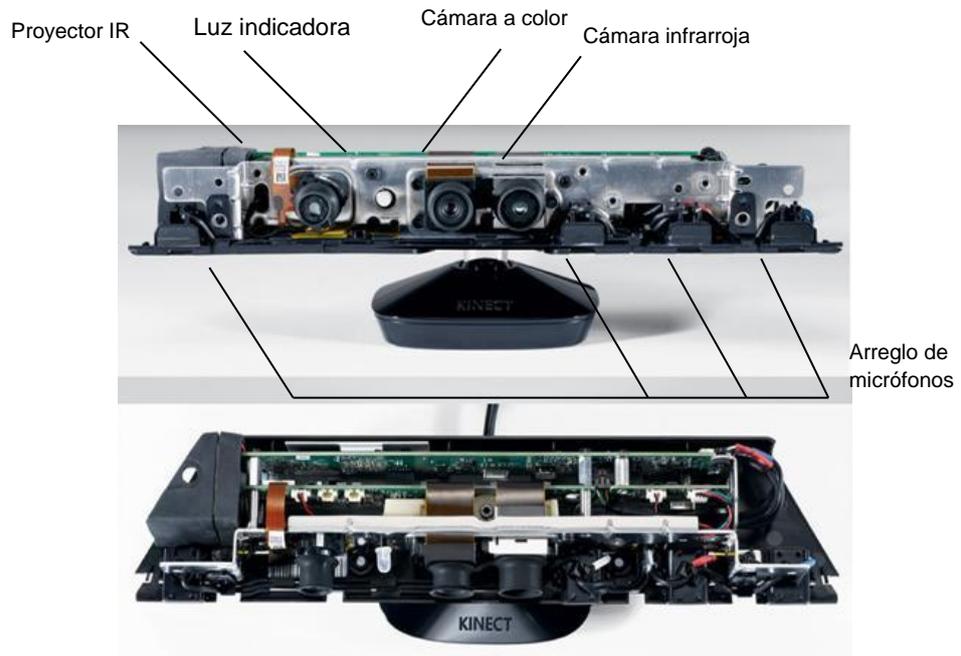


Figura 2.6 – Componentes internos del Kinect. [26]

Como observamos en la Figura 2.6 y como se menciona en [4] el sensor se basa en lentes ópticas y tiene algunas limitaciones, pero funciona bien en virtud de los siguientes rangos (todos a partir del centro del Kinect):

- Ángulo de visión horizontal: 57 °.
- Ángulo de visión vertical: 43 °.
- Distancia del usuario (distancia de enfoque) para obtener mejores resultados: 1,2 a 4m.
- Rango de profundidad: 8000 mm.

- Temperatura: 5 a 35 grados centígrados (41 a 95 grados Fahrenheit).

Para la utilización del Kinect los requerimientos mínimos del sistema son los especificados en [12]:

- Sistema operativo Windows 7, Windows 8, Windows Embedded Standard 7, o Windows Embedded POSReady 7.
- Procesador de 32 bit (x86) o 64 bit (x64).
- Procesador Dual-core 2.66-GHz o posterior.
- USB 2.0 Dedicado.
- 2 GB RAM.
- Microsoft Visual Studio 2010 Express u otra edición de Visual Studio 2010.
- Microsoft .NET Framework 4.
- Kinect para Windows SDK (x86 or x64).

2.3. KINECT SDK

Desde la aparición del Kinect hubo muchas personas que se dedicaron a desarrollar aplicaciones de manera no oficial sin permiso y con el desconocimiento de Microsoft. Inicialmente Microsoft intentó combatir a los piratas, pero luego se daría cuenta de que liberar su

software significaba un gran paso para la realización de avances tecnológicos.

Microsoft lanzó oficialmente la primera versión del SDK (1.0) el primero de Febrero del 2012, este lanzamiento al igual que en la actualidad está enfocado para los desarrolladores o personas que deseen realizar proyectos no comerciales con el Kinect. [2]

El kit de desarrollo de Kinect para Windows es un conjunto de bibliotecas que nos permite programar aplicaciones en una variedad de plataformas de desarrollo Microsoft utilizando el sensor Kinect como entrada, los lenguajes disponibles son C++ y C#. Con él podemos programar WPF, aplicaciones Windows Forms, aplicaciones de XNA con un poco de trabajo, aplicaciones que se ejecutan en el sistema operativo Windows, sin embargo, por extraño que parezca no se puede crear juegos para Xbox con el SDK de Kinect para Windows. [6].

2.4. SEGUIMIENTO DE LA CABEZA

Como mencionamos en el primer capítulo nuestra región de interés se centra en la parte superior del cuerpo, en este proyecto vamos a analizar los movimientos realizados por la cabeza y hombros, por lo

que nuestra revisión bibliográfica se basa específicamente en encontrar algoritmos de detección y seguimiento de las partes del cuerpo antes mencionada, tomando como referencia el uso de Kinect y su kit de desarrollo.

Dentro del kit de desarrollo de Kinect contamos con la clase *Skeleton*, la misma que contiene las definiciones de las partes del cuerpo humano, mediante estas definiciones pre-cargadas y un algoritmo de toma de decisiones se logra estimar los puntos de las diferentes partes del cuerpo, véase Figura 2.7.

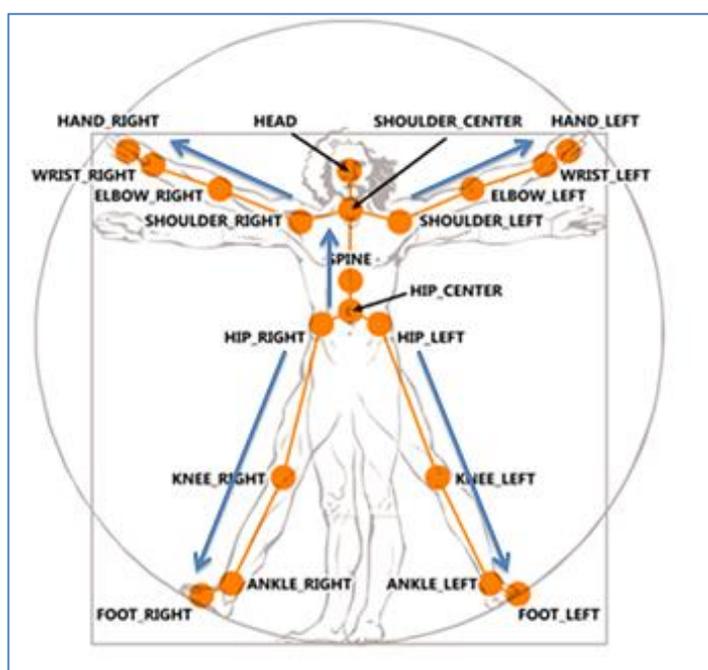


Figura 2.7 – Gráfica de *Skeleton*. [27]

En [16] se presenta otra de las clases que nos van a servir de apoyo llamada *FaceTracking*. La clase *FaceTracking* del kit de desarrollo usa coordenadas 3D para determinar las partes de nuestro rostro como son: ojos, nariz, boca, etc. El origen del plano (0, 0, 0) es el centro de la cámara (Kinect), el eje Z apunta hacia el usuario y el eje Y hacia arriba, las unidades de medidas son metros para distancia y grados para los ángulos, véase la Figura 2.8.

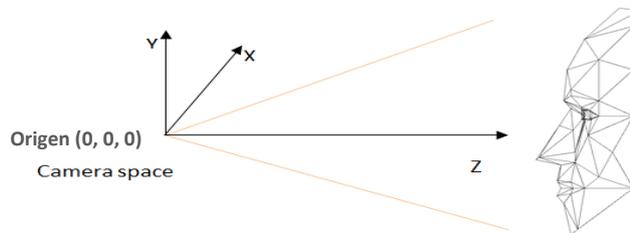


Figura 2.8 – Plano *FaceTracking*. [28]

La clase *FaceTracking* nos brinda algunas facilidades en nuestro proyecto de análisis de los movimientos de la cabeza ya que tiene 3 salidas pero en este apartado únicamente se revisarán dos de ellas, las mismas que se detallan a continuación:

- *2D points.*
- *3D head pose.*

2D points: *Facetracking* nos arroja 82 puntos en 2D como se indica en la Figura 2.9.

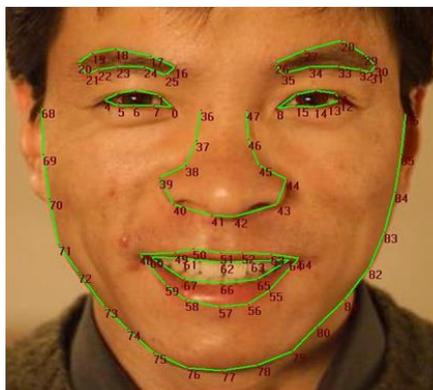


Figura 2.9 – Puntos proporcionados por la clase *FaceTracking*. [29]

Estos puntos son devueltos en una matriz, y se definen en el espacio de coordenadas de la imagen RGB (en 640 x 480 de resolución).

Adicionalmente arroja 13 puntos (que no se muestran en la Figura 2.9) los cuales incluyen: el centro del ojo, las esquinas de la boca y el centro de la nariz.

3D Head Pose: Nos devuelve las coordenadas X, Y, Z de la cabeza del usuario, se forma sobre la base de un sistema basado en la regla de la mano derecha de coordenadas (con el origen en el sensor, Z apuntando hacia el usuario y apuntando hacia arriba). Las distancias están en metros.

La pose de la cabeza es capturada por tres ángulos: *pitch*, *roll*, y *yaw* como se muestra en la Figura 2.10.

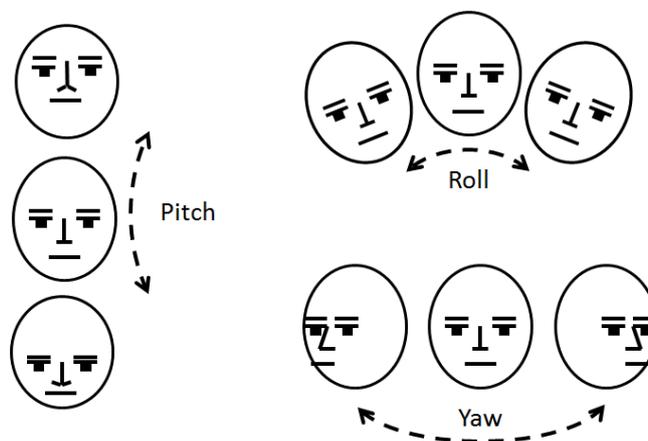


Figura 2.10 – Ángulos generados por el movimiento de la cabeza. [30]

Los valores de estos tres ángulos varían entre -180 y + 180.

Ángulos	Valores
<i>Pitch</i> 0=neutral	-90 = Mirando hacia el suelo. 90 = mirando hacia el techo.
<i>Roll</i> 0 = neutral	-90 = Horizontal paralelo con el hombro derecho del sujeto. +90 = Horizontal paralelo con el hombro izquierdo del sujeto.
<i>Yaw</i> 0 = neutral	-90 = Volvió hacia el hombro derecho del sujeto. 90 = se volvió hacia el hombro izquierdo del sujeto.

Tabla 1 – Valores y ángulos de rotación del Kinect.

Los métodos antes mencionados serán de mucha utilidad para dar seguimiento a los movimientos realizados por la cabeza. En [13] se ayudan del vector posición del ojo para estimar la pose de la cabeza calculando los ángulos *pitch*, *yaw* y *roll* no siendo así en [17] que con la ayuda de la información de profundidad que nos arroja el Kinect se logra estimar el vector posición de la nariz, tomando como premisa para el cálculo de dicha posición que la nariz es el punto menos profundo o más cercano al Kinect.

Esta hipótesis no es siempre cierta ya que al cambiar de posición la cabeza los puntos menos profundos no coincide con la nariz como se muestra en la Figura 2.11.

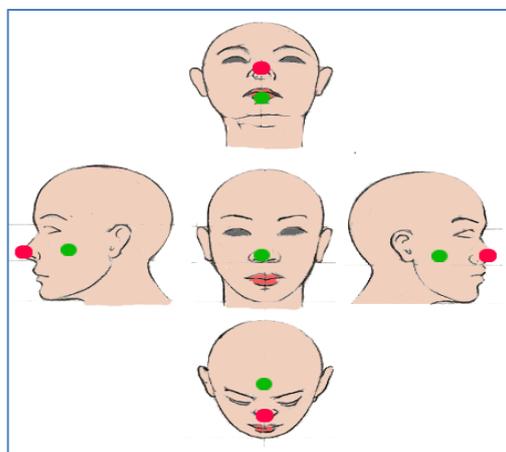


Figura 2.11 – Posiciones de la nariz.

Para la corrección de este problema se multiplican los puntos de la nariz por una matriz de rotación, logrando así que la nariz sea siempre

el punto menos profundo sin importar la pose en la cual nos encontremos.

2.5. WPF (*WINDOWS PRESENTATION FOUNDATION*)

Uno de los objetivos de este proyecto es implementar una aplicación con un alto grado de usabilidad orientada hacia los médicos Fisioterapeutas, apoyando al diagnóstico en el tratamiento de traumatismo cervical. Por este motivo y debido a las características intrínsecas que nos ofrece el *framework* WPF la aplicación va a ser implementada bajo dicho esquema, WPF es un sistema de presentación de nueva generación para crear aplicaciones cliente Windows con experiencias de usuario visualmente impresionantes [20].

Así también, [21] menciona que este *framework* nos permitirá crear aplicaciones RIA (*Rich Internet Application*) para escritorio y Web, así como también combinar UIs, gráficos 2D y 3D, documentos, animaciones y multimedia incluido dentro de Visual Studio 2010.

En [22] mencionan algunas características que nos brinda desarrollar bajo WPF:

Separación de la apariencia y el comportamiento

WPF separa la aparición de una interfaz de usuario a partir de su comportamiento. La aparición generalmente se especifica en el *Extensible Application Markup Language* (XAML), el comportamiento se implementa en un lenguaje de programación administrado como C# o Visual Basic. Las dos partes están unidas entre sí por enlace de datos, eventos y comandos.

Rica composición

Con WPF se puede definir casi cualquier tipo de controles como contenido de otro. Aunque esta flexibilidad suena horrible para los diseñadores, es una característica muy poderosa si se usa apropiadamente. Ejemplo: poner una figura en un botón para crear un botón de imagen, o poner una lista de videos en un cuadro combinado para seleccionar un archivo de vídeo.

Altamente personalizable

Debido a la estricta separación de la apariencia y el comportamiento, puede cambiar fácilmente el aspecto de un control. El concepto de estilos le permite controlar casi como CSS en HTML, las plantillas le permiten sustituir toda la apariencia de un control por una ya predefinida.

Debido a estas poderosas características de visualización y usabilidad la aplicación va a ser desarrollada bajo la plataforma WPF.

En la Figura 2.12 podemos observar todas las características de WPF.



Figura 2.12 – Características de WPF. [31]

2.6. MYSQL

Con la finalidad de mantener toda la información generada por el paciente durante la ejecución de cada uno de los ejercicios mencionados en el Capítulo I, dicha información será almacenada utilizando el motor de base de datos MySQL.

Revisando un poco acerca de este motor de base de datos, MySQL es un sistema de administración de bases de datos (*Database Management System, DBMS*) para bases de datos relacionales, no es

más que una aplicación que permite gestionar archivos llamados bases de datos [23].

También es muy destacable, la condición de *Open Source*, que hace que su utilización sea gratuita e incluso se pueda modificar con total libertad, pudiendo descargar su código fuente. Esto ha favorecido muy positivamente en su desarrollo y continuas actualizaciones para hacer de MySQL una de las herramientas más utilizadas por los programadores orientados a Internet.

Como se menciona en [24] entre las ventajas de MySQL tenemos las siguientes:

- Es soportadas por una gran variedad de sistemas operativos.
- Proporciona sistemas de almacenamientos transaccionales y no transaccionales.
- Las funciones SQL están implementadas usando una librería altamente optimizada y deben ser tan rápidas como sea posible.
- Un sistema de privilegios y contraseñas que es muy flexible y seguro, y que permite verificación basada en el host.

- Las contraseñas son seguras porque todo el tráfico de contraseñas está cifrado cuando se conecta con un servidor.
- Uso completo de *multi-threaded* mediante *threads* del *kernel*. Pueden usarse fácilmente múltiples CPUs si están disponibles.

2.7. **ENTITY FRAMEWORK**

Como mencionamos en la sección anterior con la inclusión del *framework* WPF logramos una mejor experiencia para el usuario, con *Entity Framework* haremos que nuestro acceso a los datos se realicen de manera más rápida y eficiente permitiéndole al participante una interacción más amena con el sistema.

Microsoft en su apartado [25] nos habla de *Entity Framework* como una poderosa herramienta de persistencia de datos, en la cual los desarrolladores pueden trabajar a un nivel más alto de abstracción cuando se relacionan con los datos, se pueden crear y mantener aplicaciones orientadas a datos con menos código que en las aplicaciones tradicionales.

Debido a que *Entity Framework* es un componente de .NET, aplicaciones desarrolladas con *Entity Framework* se pueden ejecutar en cualquier ordenador que posea el *framework* 3.5 o superior.

Los arquitectos y desarrolladores de aplicaciones orientadas a datos han luchado con la necesidad de alcanzar dos objetivos muy diferentes. Ellos deben modelar las entidades, relaciones y lógica de los problemas de negocios que están resolviendo, y también deben trabajar con los motores de datos utilizados para almacenar y recuperar los datos.

Los datos pueden abarcar múltiples sistemas de almacenamiento, cada uno con sus propios protocolos, incluso las aplicaciones que funcionan con un único sistema de almacenamiento deben equilibrar las exigencias del sistema de almacenamiento con los requisitos de la escritura de código de la aplicación eficaz y fácil de mantener.

Entity Framework, permite a los desarrolladores trabajar con datos en forma de objetos y propiedades específicas del dominio, como clientes y direcciones de cliente, sin tener que preocuparse de las tablas de base de datos subyacente y columnas donde se almacena la información.

La arquitectura del funcionamiento de *Entity Framework* se puede encontrar en la Figura 2.13.

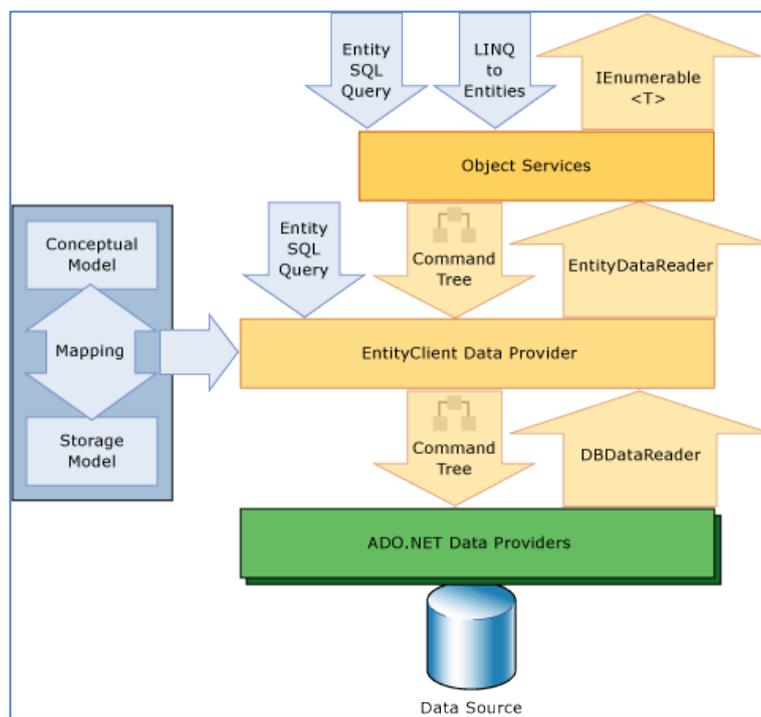


Figura 2.13 – Arquitectura de *Entity Framework*. [32]

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA

El presente capítulo presenta una breve introducción en la que se resume el proceso y los componentes que forman parte del análisis y diseño del sistema, como se muestra en la Figura 3.1.

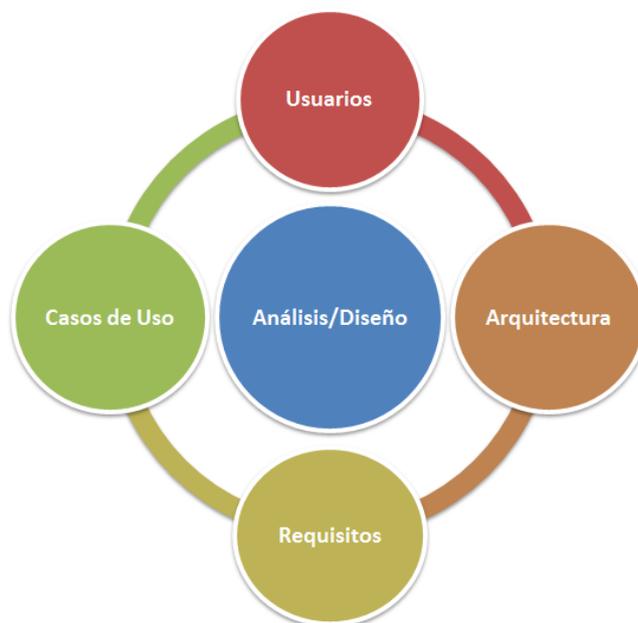


Figura 3.1 – Partes del análisis y diseño del sistema.

El análisis y diseño más que nada se refiere al proceso de identificar las necesidades del o los usuarios que interactúan con el sistema. Principalmente cuando hablamos de análisis se refiere al ¿Qué hay que hacer? y el diseño al ¿Cómo hay que hacerlo?.

Para esto, se llevaron a cabo múltiples reuniones de trabajo con el equipo de SERLI. SERLI es una Institución pionera en la rehabilitación física, autónoma, sin fines de lucro; creada con el objetivo de servir a las comunidades en general, y en especial a la discapacidad.

Con ellos se levantaron los requisitos funcionales y no funcionales del sistema los mismos que servirán para definir la arquitectura de hardware y software, componentes, módulos y datos para satisfacer dichos requerimientos.

3.1. REQUERIMIENTOS FUNCIONALES

Los requerimientos funcionales se refieren a las características que el sistema debe tener o una restricción que el sistema debe satisfacer para ser aceptada por los interesados. Describe la interacción entre el sistema y su ambiente independientemente de la implementación del mismo.

Cuando hablamos de ambiente este incluye al usuario y cualquier otro sistema o dispositivo externo que interactúa con el sistema. Estos requerimientos son levantados como historias de usuarios en lenguaje natural, una de las herramientas que nos ayuda a levantar estos requerimientos son los casos de uso.

Los casos de uso son una descripción de los pasos o las actividades que deberán realizarse para llevar a cabo algún proceso en el sistema, los mismos que se detallarán a lo largo de este capítulo.

El primer paso para determinar los diferentes casos de uso es identificar los roles y sus características que interactúan con nuestro sistema.

Roles del sistema

De acuerdo con los requerimientos del sistema, se identifican los siguientes roles: médico y administrador. En la Tabla 2 se describen el alcance de cada uno de ellos.

Rol	Descripción
Médico	Este rol le permitirá ingresar información relacionada al paciente: terapias, tratamientos y la visualización de los gráficos de evolutivos generados a lo largo de su proceso de rehabilitación.
Administrador	Este rol permitirá administrar todas las opciones del sistema.

Tabla 2 – Roles del sistema.

3.2. REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES

Los requerimientos no funcionales se refieren a los atributos de calidad con los que debe cumplir el sistema, se refieren a todos los requerimientos que no describen información a guardar, ni funciones a realizar tales como:

Atributo	Descripción
Rendimiento	El sistema debe optimizar el uso de los recursos.
Seguridad	El sistema debe transferir y almacenar la información de manera segura.
Interfaz	Se refiere a que el sistema tenga una interfaz agradable a la vista del usuario. Esto se logra organizando de manera correcta los controles y aplicando las teorías del color.
Mantenibilidad	El sistema debe ser fácil de mantener, para esto se debe manejar una buena arquitectura.
Usabilidad	El sistema debe ser intuitivo y fácil de utilizar

Tabla 3 – Requerimientos no funcionales.

Se llevaron a cabo varias reuniones de trabajo en el Centro de Rehabilitación Física SERLI y se levantaron las siguientes características no funcionales con la que debe cumplir el sistema.

Se indicó la mayoría de los atributos de calidad sin embargo únicamente fueron considerados como necesarios que el sistema

debe ser fácil de usar, entiéndase como fácil de usar a la rapidez y facilidad con que las personas llevan cabo sus tareas propias a través del mismo.

El sistema debe ser fácil de mantener esto se logra con una arquitectura robusta que permita crecer a nivel de componentes, la misma que será detallada en una sección más adelante.

3.3. CASOS DE USO

Una vez definidos los usuarios que van a interactuar con el sistema se procede a listar los diferentes casos de uso. Como se mencionó anteriormente los casos de usos son una descripción de los pasos o las actividades que deberán realizarse para llevar a cabo algún proceso y expresa la interacción con la aplicación por parte del usuario.

Los siguientes escenarios han sido considerados e implementados en la aplicación.

ID	Casos de Uso	Médico
CU01	Inicio de Sesión	X
CU02	Ingreso de Paciente	X
CU03	Modificación de Paciente	X
CU04	Consultar Paciente	X
CU05	Ingreso de Médico	X
CU06	Modificar Médico	X
CU07	Consultar Médico	X
CU08	Ingreso de Tratamiento	X
CU09	Modificar Tratamiento	X
CU10	Consultar Tratamiento	X
CU11	Consultar Paciente Terapia	X
CU12	Realizar Terapia	X
CU13	Consultar Resumen Terapia	X
CU14	Consultar Progreso Paciente	X

Tabla 4 – Listado de casos de uso.

Cada caso de uso será detallado a continuación:

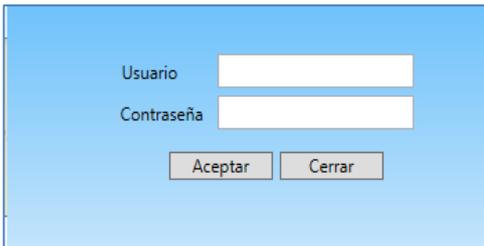
ID	CU01
Nombre	Inicio de sesión.
Pantalla	
Descripción	Esta opción permite validar el acceso al sistema.
Rol	Médico
Pre-Condiciones	Ninguna
Acciones	<p>El médico debe lanzar la aplicación.</p> <p>El sistema mostrará una pantalla donde deberá ingresar sus credenciales: usuario y contraseña.</p> <p>El sistema validará el usuario y contraseña.</p> <p>Se permitirá el ingreso al sistema mostrándole al usuario un mensaje de bienvenida y el menú de opciones disponibles.</p>

Tabla 5 – Caso de uso 1.

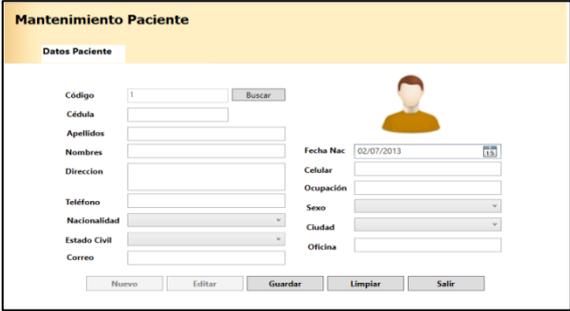
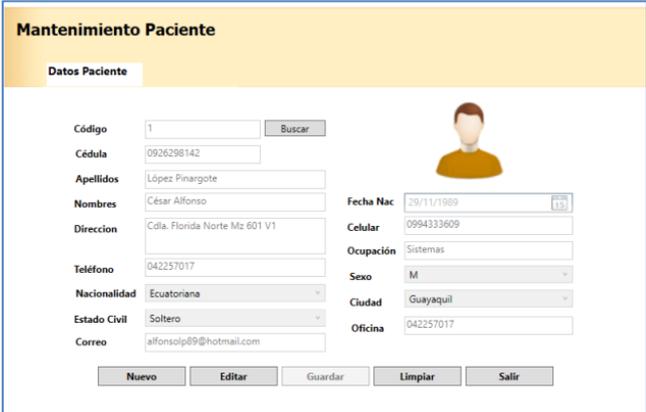
ID	CU02
Nombre	Ingreso de paciente.
Pantalla	
Descripción	Esta opción permite agregar un nuevo paciente.
Rol	Médico
Pre-Condiciones	Ingresar al sistema.
Acciones	<p>Escoger la opción: Agregar Paciente.</p> <p>Dar clic en el botón: Nuevo.</p> <p>Llenar los datos del paciente: cédula, nombre, apellido, dirección, teléfono, nacionalidad, estado civil, correo, fecha de nacimiento, celular, ocupación, sexo, ciudad y oficina.</p> <p>El sistema validará que se ingresen todos los campos requeridos. En caso que no se hayan ingresado todos los campos, el sistema mostrará un mensaje indicando los campos que faltan.</p> <p>Dar clic en el botón: Guardar.</p> <p>El sistema mostrará un mensaje de datos guardados con éxito, caso contrario le pedirá que ingrese los datos faltantes.</p>

Tabla 6 - Caso de uso 2.

ID	CU03
Nombre	Modificación de paciente.
Pantalla	
Descripción	Esta opción permite modificar los datos de un paciente que ya ha sido registrado en el sistema.
Rol	Médico
Pre-Condiciones	Ingresar al sistema.
Acciones	<p>Escoger la opción: Agregar Paciente.</p> <p>Dar clic en el botón: Buscar.</p> <p>El sistema presentará una pantalla para buscar el paciente que desea modificar.</p> <p>Seleccionar el paciente que desea modificar.</p> <p>Cargarán todos los datos del paciente.</p> <p>Dar clic en el botón: Seleccionar.</p> <p>Modificar los datos del paciente: cedula, nombre, apellido, dirección, teléfono, nacionalidad, estado civil, correo, fecha de nacimiento, celular, ocupación, sexo, ciudad y oficina.</p>

	<p>El sistema validará que se ingresen todos los campos requeridos. En caso que no se he hayan ingresado todos los campos, el sistema mostrará un mensaje indicando los campos que faltan.</p> <p>Dar clic en el botón: Guardar.</p> <p>El sistema mostrará un mensaje de datos modificados con éxito.</p>
--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabla 7 - Caso de uso 3.

ID	CU04
Nombre	Consultar paciente.
Pantalla	
Descripción	Esta opción permite consultar los datos de un paciente.
Rol	Médico
Pre-Condiciones	Ingresar al sistema.
Acciones	<p>Escoger la opción: Agregar Paciente.</p> <p>Dar clic en el botón: Buscar.</p> <p>El sistema presentará una pantalla para buscar el paciente que desea consultar.</p> <p>El sistema dará la opción de buscar por: cédula, nombre o apellido.</p> <p>Una vez ingresado el criterio de búsqueda dar clic en el botón: Buscar.</p> <p>El sistema mostrará los datos del paciente: cédula, nombre, apellido, dirección, teléfono, nacionalidad, estado civil, correo, fecha de nacimiento, celular, ocupación, sexo, ciudad y oficina.</p>

Tabla 8 - Caso de uso 4.

ID	CU05
Nombre	Ingreso de médico.
Pantalla	
Descripción	Esta opción permite agregar un nuevo médico.
Rol	Médico
Pre-Condiciones	Ingresar al sistema.
Acciones	<p>Escoger la opción: Agregar Paciente.</p> <p>Dar clic en el botón: Nuevo.</p> <p>Llenar los datos del médico: cédula, nombre, apellido, dirección, teléfono, nacionalidad, estado civil, correo, fecha de nacimiento, celular, especialidad, sexo, ciudad y oficina.</p> <p>El sistema validará que se ingresen todos los campos requeridos. En caso que no se hayan ingresado todos los campos, el sistema mostrará un mensaje indicando los datos que faltan.</p> <p>Dar clic en el botón: Guardar.</p> <p>El sistema mostrará un mensaje de datos guardados con éxito.</p>

Tabla 9 - Caso de uso 5

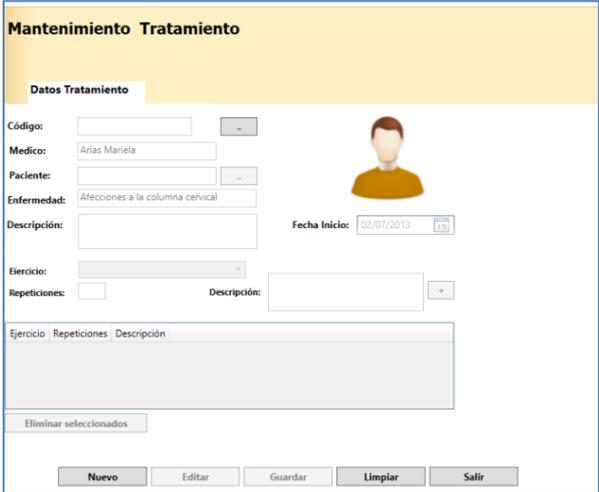
ID	CU06
Nombre	Modificación de médico.
Pantalla	
Descripción	Esta opción permite modificar los datos del médico.
Rol	Médico.
Pre-Condiciones	Ingresar al sistema.
Acciones	<p>Escoger la opción: Agregar Médico.</p> <p>Ingrese la cédula del médico que desea modificar.</p> <p>Dar clic en el botón </p> <p>Cargarán todos los datos del médico.</p> <p>Dar clic en el botón: Editar.</p> <p>Modificar los datos del médico: cédula, nombre, apellido, dirección, teléfono, nacionalidad, estado civil, correo, fecha de nacimiento, celular, especialidad, sexo, ciudad y oficina.</p> <p>El sistema validará que se ingrese todos los campos requeridos. En caso que no se hayan ingresado todos los campos, el sistema, mostrará un mensaje</p>

	<p>indicando los campos que faltan.</p> <p>Dar clic en el botón: Guardar.</p> <p>El sistema mostrará un mensaje de datos modificados con éxito.</p>
--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabla 10 - Caso de uso 6.

ID	CU07
Nombre	Consultar médico.
Pantalla	
Descripción	Esta opción permite consultar los datos de un médico.
Rol	Médico.
Pre-Condiciones	Ingresar al sistema.
Acciones	<p>Escoger la opción: Agregar Médico.</p> <p>Ingresar la cédula del médico.</p> <p>Presionar el botón </p> <p>El sistema mostrará los datos del médico: cédula, nombre, apellido, dirección, teléfono, nacionalidad, estado civil, correo, fecha de nacimiento, celular, especialidad, sexo, ciudad y oficina.</p>

Tabla 11 - Caso de uso 7.

ID	CU08
Nombre	Ingreso de tratamiento.
Pantalla	
Descripción	Ingreso de un nuevo tratamiento de fisioterapia.
Rol	Médico.
Pre-Condiciones	Ingresar al sistema.
Acciones	<p>Escoger la opción: Agregar Tratamiento de Fisioterapia.</p> <p>Dar clic en el botón: Nuevo.</p> <p>Seleccionar el paciente al cual se le desea agregar el tratamiento (CU04).</p> <p>Llenar los datos del tratamiento: descripción y fecha de inicio.</p> <p>Registrar los ejercicios del tratamiento: ejercicio, descripción y número de repeticiones.</p> <p>El sistema validará que se ingresen todos los campos requeridos. En caso que no se hayan ingresado todos los campos, el sistema mostrará un mensaje</p>

	<p>indicando los campos faltantes.</p> <p>Dar clic en el botón: Guardar.</p> <p>Se mostrará un mensaje de datos guardados.</p>
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabla 12 - Caso de uso 8.

ID	CU09
Nombre	Consultar tratamiento.
Pantalla	
Rol	Permite consultar los datos de un tratamiento.
Actores	Médico.
Pre-Condiciones	Ingresar al sistema.
Acciones	<p>Escoger la opción: Agregar Tratamiento de Fisioterapia.</p> <p>Dar clic en el botón </p> <p>El sistema mostrará una ventana donde podrá buscar el tratamiento por: cédula, código, médico, fecha de Inicio o fin del tratamiento.</p> <p>Una vez ingresados los criterios de búsqueda deberá dar clic en el botón: Buscar.</p> <p>Seleccione el tratamiento.</p> <p>De clic en el botón: Seleccionar.</p> <p>El sistema cargará todos los datos el tratamiento seleccionado.</p>

Tabla 13 - Caso de uso 9.

ID	CU10
Nombre	Modificación de tratamiento.
Pantalla	
Descripción	Permite modificar el tratamiento de fisioterapia.
Rol	Médico.
Pre-Condiciones	Ingresar al sistema.
Acciones	<p>Escoger la opción: Agregar Tratamiento de Fisioterapia.</p> <p>Dar clic en el botón </p> <p>Deberá escoger el tratamiento a modificar (CU09).</p> <p>Se cargarán todos los datos del tratamiento.</p> <p>Dar clic en el botón: Editar.</p> <p>Modificar los datos del tratamiento: descripción, fecha de inicio y ejercicios.</p> <p>El sistema validará que se ingresen todos los campos requeridos en caso que no se hayan ingresado todos los campos, el sistema mostrará un mensaje</p>

	<p>indicando los campos faltantes.</p> <p>Dar clic en el botón: Guardar.</p> <p>El sistema mostrará un mensaje de datos modificados con éxito.</p>
--	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabla 14 - Caso de uso 10.

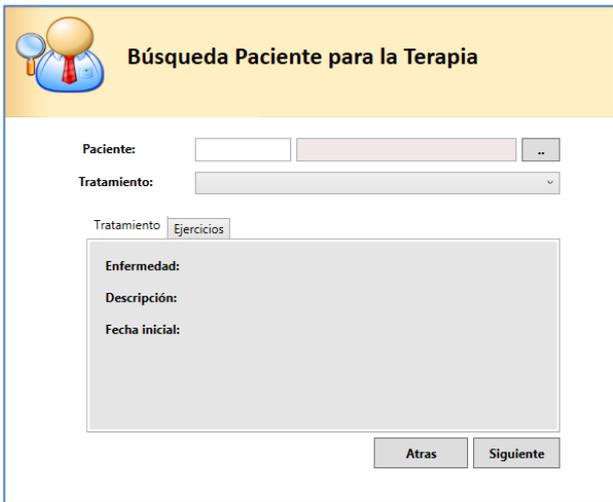
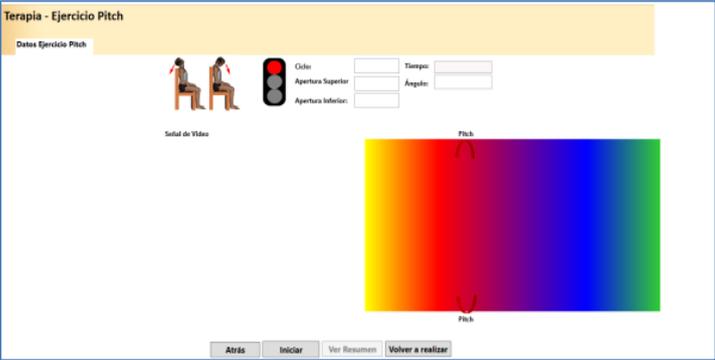
ID	CU11
Nombre	Consultar paciente terapia.
Pantalla	
Descripción	Permite consultar un paciente y sus tratamientos para realizar las terapias.
Rol	Médico.
Pre-Condiciones	Tener asignado un tratamiento a un paciente.
Acciones	<p>Escoger la opción: Realizar Terapia.</p> <p>Consultar y escoger el paciente que va a realizar la terapia (CU04).</p> <p>Elegir el tratamiento.</p> <p>El sistema mostrará el detalle del tratamiento.</p>

Tabla 15 - Caso de uso 11.

ID	CU12
Nombre	Realizar terapia.
Pantalla	
Descripción	Permite registrar la terapia de un paciente.
Rol	Médico.
Pre-Condiciones	<p>Tener asignado un tratamiento a un paciente.</p> <p>Tener seleccionado el paciente y su tratamiento.</p>
Acciones	<p>El sistema mostrará una pantalla con el perfil del paciente seleccionado y todas sus terapias realizadas de acuerdo al paciente y tratamiento escogido.</p> <p>Dar clic en el botón: Agregar.</p> <p>Ingresar los datos de la terapia: motivo, evolución y valoración.</p> <p>Clic en el botón: Guardar.</p> <p>El sistema mostrará un mensaje de datos guardados con éxito.</p> <p>Para realizar la terapia dar clic en el botón: Realizar terapia.</p> <p>Escoger el ejercicio.</p>

	<p>Dar clic en: Iniciar.</p> <p>Una vez finalizado el ejercicio dar clic en: Finalizar.</p> <p>El sistema mostrará un mensaje indicando que los datos han sido guardados con éxito.</p> <p>Podrá consultar los resultados parciales de la terapia realizada dando clic en: Ver Resumen.</p>
--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabla 16 - Caso de uso 12.

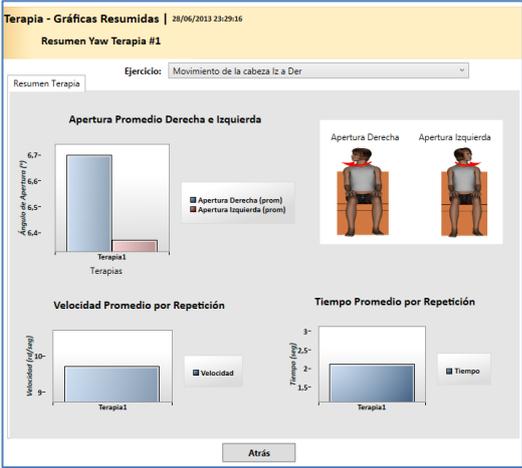
ID	CU13
Nombre	Consultar resumen terapia
Pantalla	
Descripción	Permite consultar las terapias realizadas.
Rol	Médico.
Pre-Condiciones	Ingresar al sistema.
Acciones	<p>Escoger la opción: Realizar terapia.</p> <p>Seleccionar el paciente y tratamiento (CU11).</p> <p>El sistema mostrará el listado de las terapias realizadas.</p> <p>Seleccionar la terapia que desea consultar.</p> <p>Dar clic en el botón: Ver terapia.</p> <p>Escoger el ejercicio, el sistema mostrará una ventana donde podrá escoger el ejercicio que desea consultar.</p> <p>El sistema presentará los resultados obtenidos.</p>

Tabla 17 - Caso de uso 13.

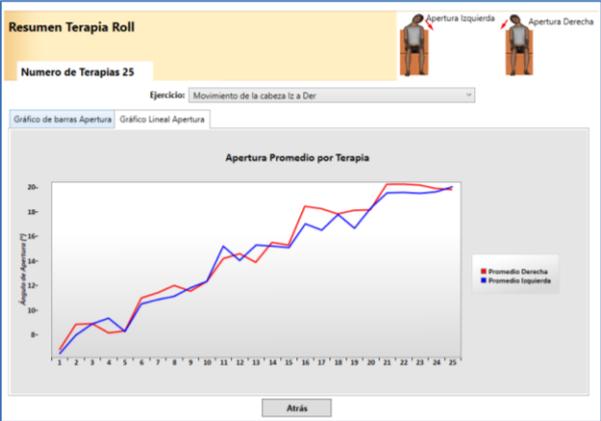
ID	CU14
Nombre	Consultar progreso paciente.
Pantalla	
Descripción	Permite consultar el progreso del paciente.
Rol	Médico.
Pre-Condiciones	Ingresar al sistema.
Acciones	<p>Escoger la opción: Ver Progreso.</p> <p>Seleccionar el paciente y tratamiento (CU11).</p> <p>El sistema mostrará el perfil del paciente.</p> <p>Dar clic en el botón: Historial.</p> <p>Elegir el ejercicio a consultar.</p> <p>El sistema mostrará los resultados obtenidos.</p>

Tabla 18 - Caso de uso 14.

3.4. DISEÑO DEL SISTEMA

Esta sección es de vital importancia ya que nos permite definir de manera abstracta los distintos componentes del sistema que llevan a cabo alguna tarea de computación, sus interfaces y la comunicación entre sí.

En la Figura 3.2 se presenta la vista lógica de los componentes que conforman el sistema.

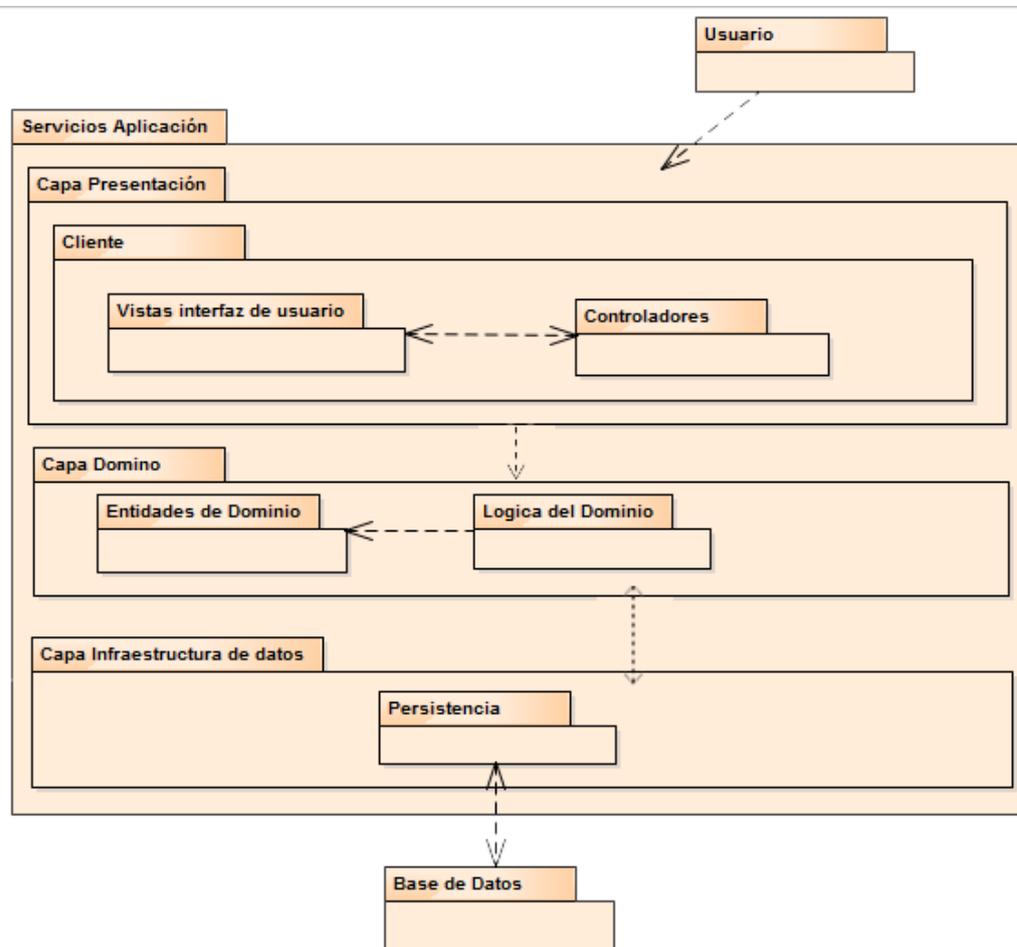


Figura 3.2 - Vista lógica del sistema

A continuación se detallan cada uno de los componentes de diseño:

Capa de presentación

Este paquete tiene la responsabilidad de mostrar información al usuario e interpretar sus acciones.

Los componentes de las capas de presentación implementan la funcionalidad requerida para que los usuarios interactúen con la aplicación. Normalmente es recomendable subdividir dichos componentes en varias sub-capas, debido a las características del sistema se ha elegido el patrón de diseño MVC.

Este paquete a su vez está integrado por los siguientes componentes:

- **Vistas interfaz de usuario:** Estos componentes proporcionan el mecanismo base para que el usuario utilice la aplicación. Son componentes que formatean datos en cuanto a tipos de letras y controles visuales, y también reciben datos proporcionados por el usuario.
- **Controladores:** Para ayudar a sincronizar y orquestar las interacciones del usuario, puede ser útil conducir el proceso

utilizando componentes separados de los componentes propiamente gráficos.

Esto impide que el flujo de proceso y lógica de gestión de estados esté programada dentro de los propios controles y formularios visuales y permite reutilizar dicha lógica y patrones desde otros interfaces o vistas. También es muy útil para poder realizar pruebas unitarias de la lógica de presentación.

Capa de dominio

La capa de dominio contiene componentes que definen las entidades de dominio que son usados por otros componentes.

Este paquete está a su vez integrado por los siguientes elementos:

- **Entidades de dominio:** Esta capa contiene componentes que representan un objeto del modelo del dominio del servicio. Típicamente representan objetos del mundo real tales como clientes o pacientes.
- **Lógica del dominio:** Esta capa contiene componentes que ofrecen la funcionalidad de realizar la secuencia de invocación de componentes de acceso a datos.

Capa infraestructura de datos

Los componentes de persistencia de datos proporcionan acceso a datos que están hospedados dentro de las fronteras de nuestro sistema, como la base de datos.

Este paquete está a su vez integrado por los siguientes componentes:

- **Persistencia:** Contiene componentes que permiten la comunicación con los almacenes de datos tales como la base de datos.

Modelo de datos

Este módulo se refiere al almacenamiento de los datos obtenidos, los mismos que serán procesados y visualizados. Para esto es muy importante contar con una base de datos.

La base de datos es el eje principal de una aplicación, porque es donde se encontrarán reflejadas las transacciones realizadas. Es necesario analizar y definir cuáles serán los procesos que desempeñará el sistema y obtener un modelo entidad-relación que identifique exactamente el proceso que sigue la aplicación.

A continuación se muestra el modelo entidad-relación de la aplicación:

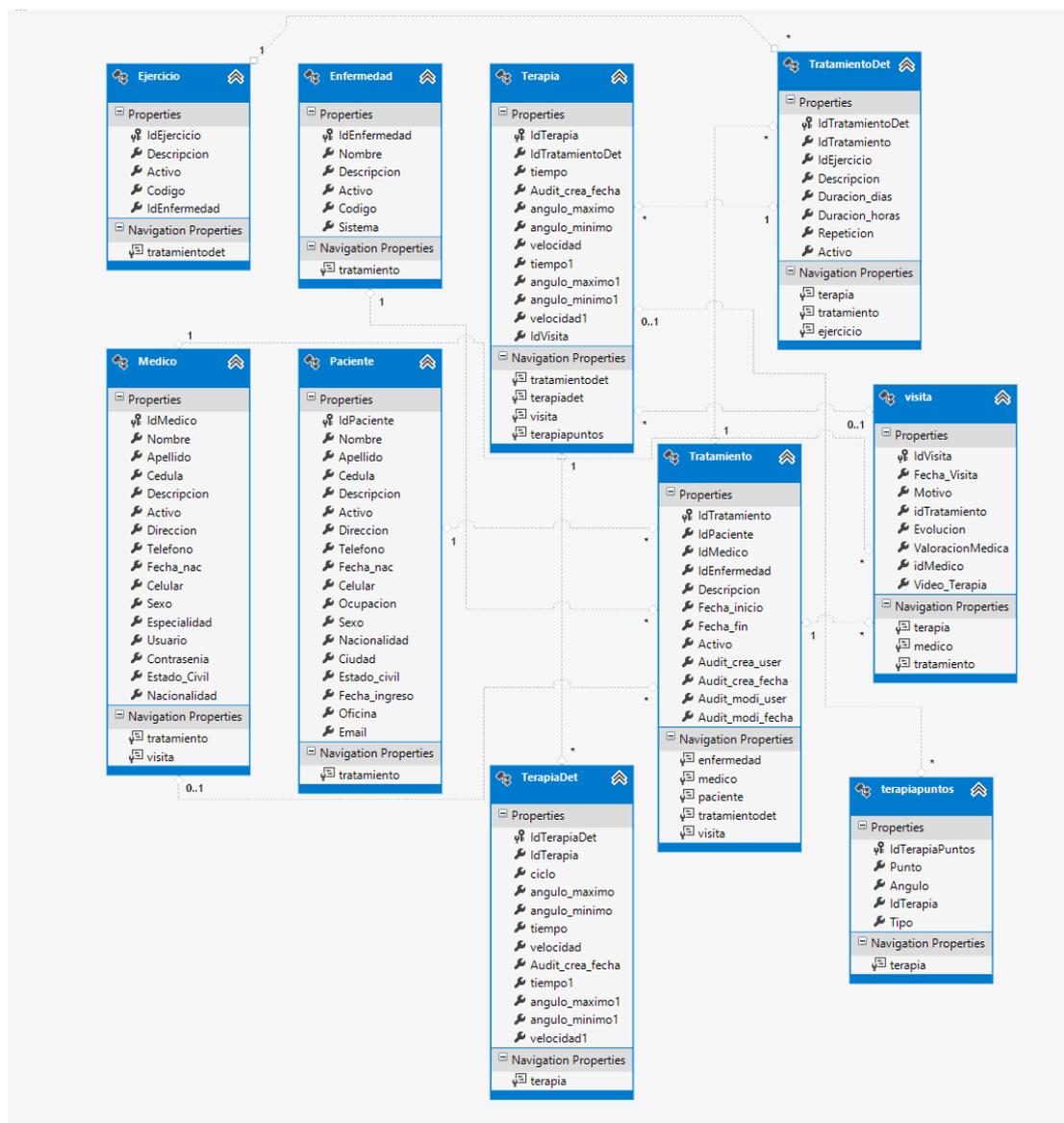


Figura 3.3 – Modelo entidad-relación de la aplicación.

CAPÍTULO 4

SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE LA SEÑAL DE VIDEO 3D

El sistema de adquisición de la señal de video 3D es una parte muy importante en el desarrollo de este proyecto, por lo tanto en el presente capítulo se presenta una breve introducción en el que se resume el proceso seguido en el sistema de adquisición de la señal de video 3D y los diferentes factores a considerar en dicho proceso. El sistema de adquisición tiene como objetivo el adquirir imágenes tridimensionales de la cabeza del paciente con la idea de detectar las diferentes partes de la misma para luego extraer y medir las características de interés. Para esto se debe analizar ciertos factores que afectan al proceso de adquisición de la señal de video tales como las condiciones del área de trabajo, la iluminación, instalación del

Kinect y su respectiva calibración, los mismos que serán revisados en este apartado.

4.1. CONDICIONES DEL ÁREA DE TRABAJO Y

MONTAJE

En esta sección se revisará las condiciones del área de trabajo, la misma que corresponde a la escena o ambiente 3D sobre el cual se encuentra inmerso el paciente, se analizarán los parámetros que debe cumplir, en cuanto al montaje se definirá la correcta ubicación y utilización del Kinect para una limpia y correcta adquisición de la señal de video 3D.

Como se mencionó anteriormente, el cuidado de las condiciones del área de trabajo es de vital importancia, para el buen funcionamiento del sistema ya que entre menos ruido tenga la señal de video vamos a requerir menos procesamiento y lograr una mayor exactitud en los resultados, por lo que a continuación se detallan las condiciones ideales tales como distancias de trabajos y parámetros de iluminación de la escena.

Iluminación de la escena 3D

Para un correcto funcionamiento es necesario que el espacio entre el participante y el sensor este despejado así como también el área trabajo debe ser un área cerrada con buena iluminación.

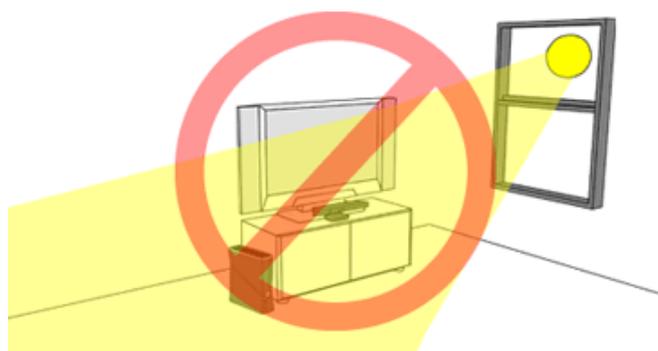


Figura 4.1 – Iluminación incorrecta del área de trabajo.

Asegúrese de que la iluminación sea la adecuada para que su cara se vea claramente y reciba una iluminación uniforme. Intente reducir la iluminación lateral o desde el fondo, especialmente desde una ventana como se muestra en la figura 4.1.

Para obtener los mejores resultados de seguimiento, evite colocar el sensor o el paciente donde reciban la luz directa del sol. Las condiciones de iluminación pueden hacer que el Kinect no lo identifique o que no realice un seguimiento de sus movimientos correctamente. [19]

Para conseguir una buena iluminación esta debe ser de tipo semi-directa en donde el flujo luminoso está dirigido hacia abajo entre 60 y 90 grados [16] y una intensidad de luz de 500 LUX, ya que con estos parámetros lograremos que el área de trabajo se encuentre correctamente iluminada. [17]

Si bien es cierto las características de hardware del sensor Kinect nos serán de mucha utilidad gracias a la luz invisible que ilumina a los objetos que encuentran dentro de su campo de visión, el *active pixel sensor*, sensor que detecta la luz y las diferentes distancias (intensidad) que esta recorre y el *chip PrimeSense 1080 SoC* que mediante un algoritmo muy sofisticado traduce la información recibida de la luz en un mapa de profundidad [18], debemos contar con una escena 3D lo más cercana a lo ideal, con esto logramos minimizar costos de pre-procesamiento (realzado y filtrado), lo que nos dará como resultado una señal de video con menos ruido como entrada a nuestro sistema.

Elementos del área de trabajo

El área de trabajo está conformada por los siguientes elementos:

Silla médica, elemento de la escena 3D en donde el paciente o participante tomará asiento para realizar sus ejercicios de rehabilitación. Este elemento permitirá que el paciente mantenga una postura recta y que tenga una mayor facilidad para realizar los ejercicios de rehabilitación

Monitor de pantalla plana, elemento en donde se podrá visualizar el modelado 3D y los ejercicios realizados por el paciente así como el análisis de los resultados.

Pinza de montaje de TV de Kinect, elemento el cual nos ayudará a realizar el montaje del sensor Kinect sobre el monitor pantalla plana.

Distancias de trabajo

Una vez que el paciente se ha sentado, el Kinect debe de estar colocado a la altura de los ojos del paciente y a una distancia de enfoque de entre 80 y 120 cm.

En [19] se recomienda que el Kinect este colocado a una distancia comprendida entre 0,6 y 1,8 m del suelo, asegúrese que no exista nada entre el participante y el sensor, además no incline manualmente el sensor ya que este es muy sensible y se puede averiar.

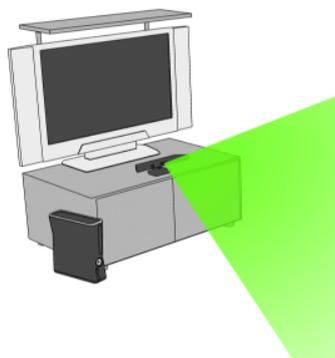


Figura 4.2 – Correcta ubicación del Kinect.

Asegúrese de que nada impida que el sensor suba o baje automáticamente, en la Figura 4.3 se muestra la correcta colocación del Kinect.

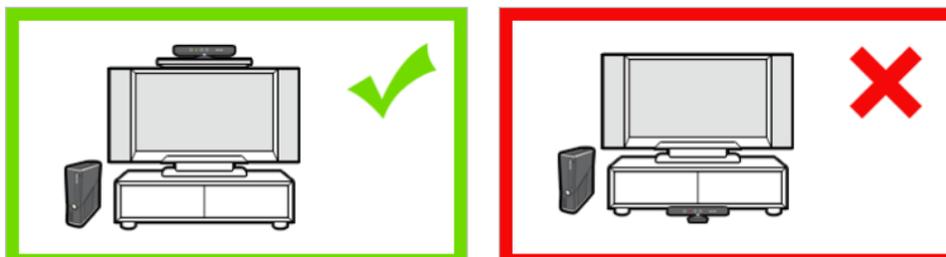


Figura 4.3 – Área correcta de ubicación del Kinect.

No coloque el sensor Kinect cerca de un altavoz ni sobre una superficie que vibre como se muestra en la Figura 4.4.

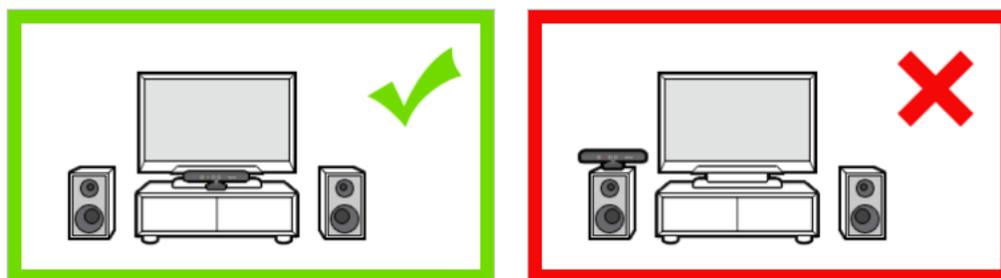


Figura 4.4 – Correcta colocación del Kinect.

Coloque el sensor Kinect sobre una superficie plana y estable ya que el sensor no lo podrá enfocar si se encuentra demasiado lejos, ver Figura 4.5.

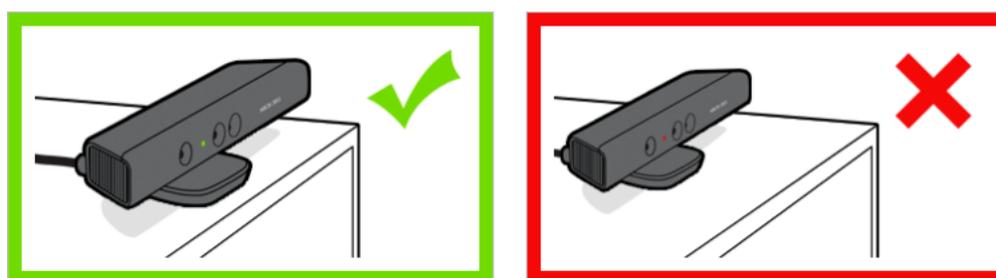


Figura 4.5 – Superficie correcta de ubicación del Kinect.

4.2. INSTALACIÓN DEL SDK DE KINECT

En esta sección se revisará los pre-requisitos y los pasos para realizar una correcta instalación de la plataforma de desarrollo del Kinect (SDK). Este es un componente muy importante, el desarrollo y ejecución de las aplicaciones que utilizan Kinect dependen de este componente.

4.2.1. Pasos previos a la instalación

Antes de instalar el SDK es muy importante tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- No tener conectado el dispositivo Kinect al puerto USB del ordenador.
- Tener cerrado el *IDE* de desarrollo antes de comenzar la instalación.
- Tener las últimas actualizaciones de Windows (recomendado).
- Descargar el SDK de la página oficial de Microsoft, dando clic en el botón *Download* tal como se muestra en la Figura 4.6.

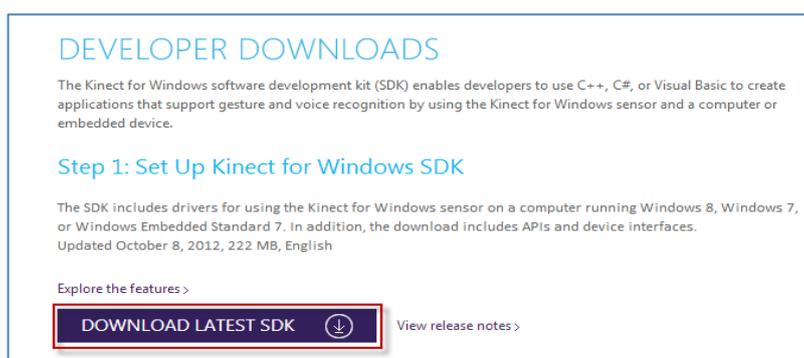


Figura 4.6 – Kinect SDK.

- Guardar el archivo descargado, véase Figura 4.7.



Figura 4.7 – Instalador Kinect SDK.

4.2.2. Pasos de Instalación Kinect SDK 1.6

Una vez seguidos los pasos previos de instalación, los cuales son muy importantes para asegurar su correcta instalación, se procede a ejecutar el programa de instalación, a continuación aparecerá la siguiente ventana de instalación, véase Figura 4.8.

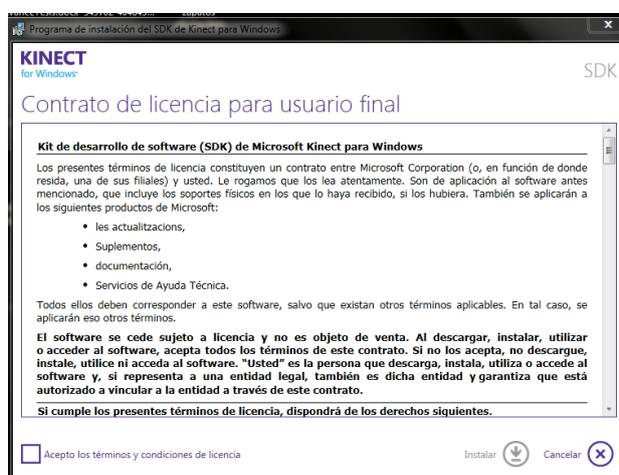


Figura 4.8 – Contrato de instalación del Kinect SDK.

Activamos la casilla de aceptación de términos y condiciones de licencia y damos clic en instalar como se muestra en la Figura 4.9.

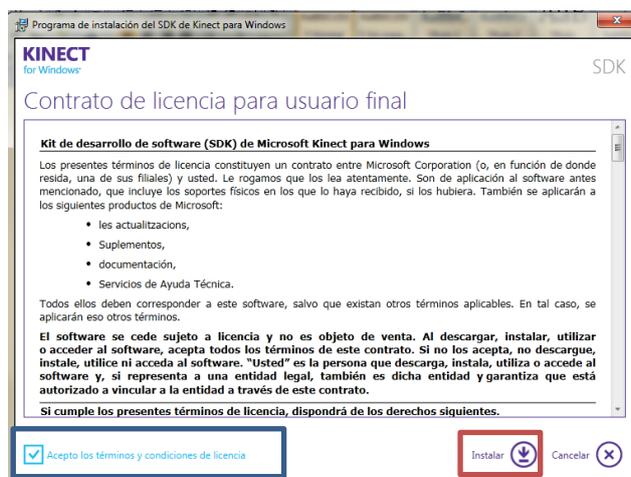


Figura 4.9 – Aceptación del contrato de instalación del Kinect SDK.

A continuación se presentará una ventana de progreso de instalación como podemos observar en la Figura 4.10.

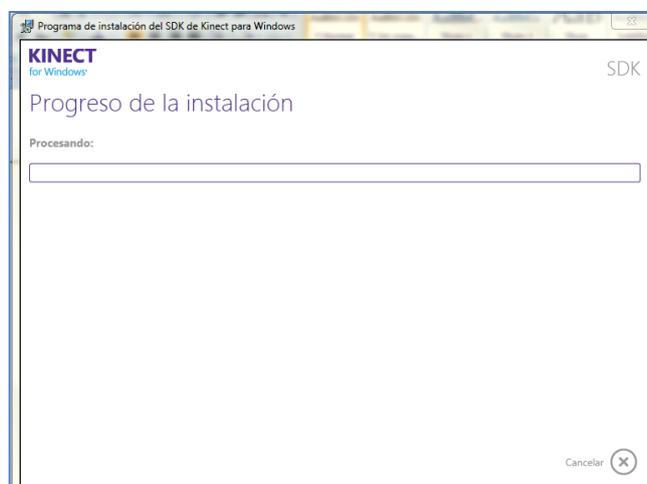


Figura 4.10 – Progreso de instalación del Kinect SDK.

Una vez completado el progreso de instalación, el programa nos indicará que debemos instalar el kit para desarrollo, véase Figura 4.11.

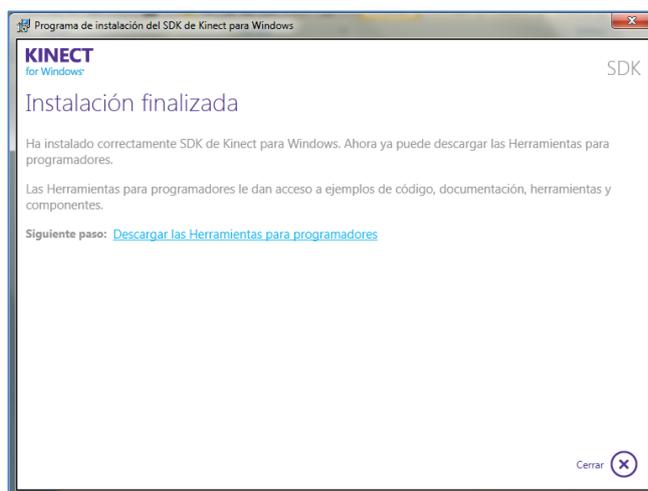


Figura 4.11 – Finalización de la instalación del Kinect SDK.

4.2.3. Verificar instalación Kinect SDK 1.6

Una vez instalada la plataforma de desarrollo tenemos que verificar que dicha instalación se llevó a cabo de la manera correcta y que no existe ningún problema con la misma. Para esto, vamos a seguir los siguientes pasos de verificación:

Una vez descargado e instalado el SDK el siguiente paso es conectar el dispositivo al ordenador por medio del puerto USB, conectando el adaptador del Kinect a la red eléctrica y luego al puerto firmware del Kinect, tomará un tiempo hasta que se reconozcan todos los controladores del sensor, incluidos los de audio.

Para verificar que efectivamente se cargaron correctamente todos los controladores el led verde del sensor Kinect debe parpadear.

Finalmente verificamos que en la sección de administración de dispositivos del panel de control de Windows, debajo de Microsoft Kinect deben aparecer habilitados los siguientes nodos:

- *Microsoft Kinect Audio Array Control.*
- *Microsoft Kinect Camera.*
- *Microsoft Kinect Device.*

4.3. INSTALACIÓN DEL KIT DE DESARROLLO DE KINECT

En la sección anterior se revisó únicamente los pasos de instalación de la plataforma de desarrollo, pero esta por si sola nos ofrece únicamente la base sobre la cual interactúan un sinnúmero de componentes de comunicación.

En esta sección revisaremos los pasos para una correcta instalación del kit de desarrollo de Kinect, el cual será el encargado de proveernos una API de desarrollo para el manejo del Kinect y los algoritmos de detección de las diferentes partes de cuerpo humano.

4.3.1. Pasos previos a la instalación del kit de desarrollo de Kinect

Antes de instalar el kit de desarrollo de Kinect al igual que en la instalación del SDK tenemos que considerar lo siguiente:

Descargar el Kinect for *Windows Developer Toolkit* 1.6 de la página oficial de Microsoft como se muestra en la Figura 4.12.

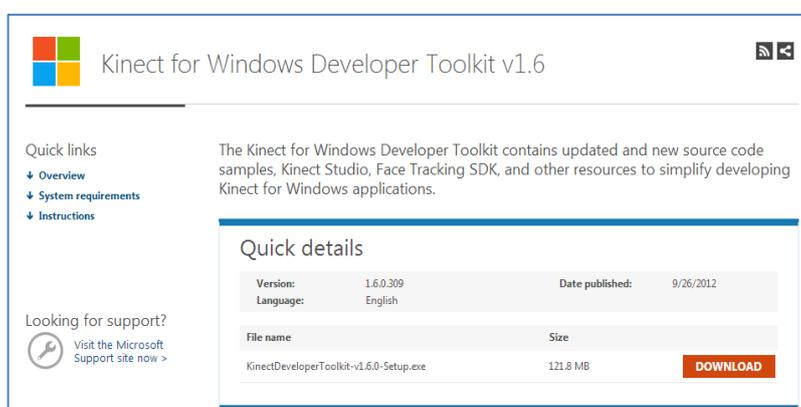


Figura 4.12 – Kinect Developer Toolkit.

Una vez completada la descarga procedemos a guardar el archivo en alguna ruta conocida tal como se muestra en la Figura 4.13.



Figura 4.13 – Instalador de Kinect Developer Toolkit.

4.3.2. Pasos de instalación del kit de desarrollo de Kinect

Una vez descargado el instalador del kit de desarrollo de Kinect procederemos a ejecutar el programa instalación. Inmediatamente nos aparecerá la siguiente ventana de instalación, en la que nos pedirá activar la casilla de aceptación de términos, para luego dar clic en instalar tal como se muestra en la Figura 4.14 y 4.15 respectivamente.

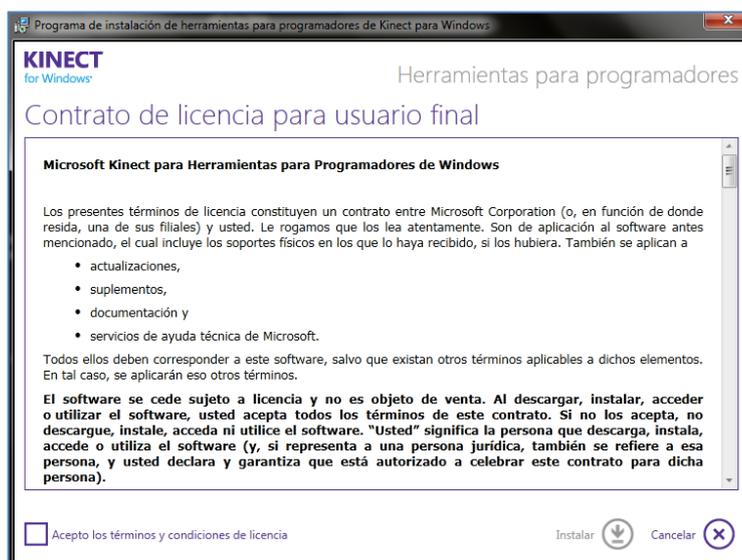


Figura 4.14 – Contrato de instalación del *Kinect Developer Toolkit*.

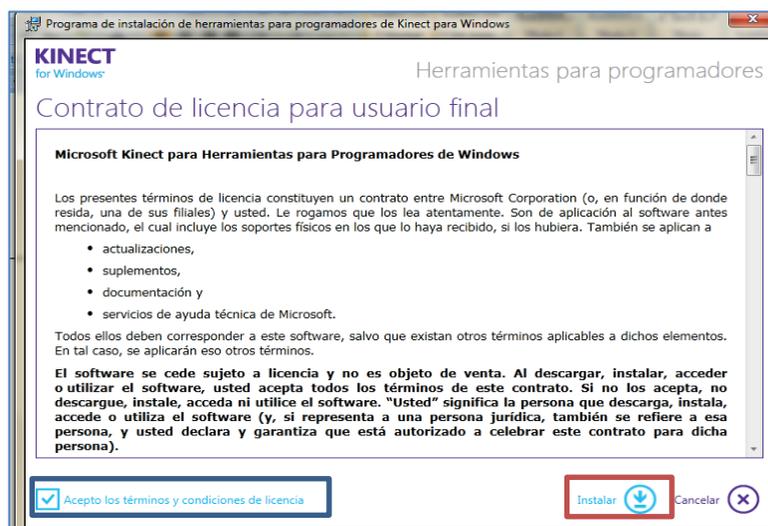


Figura 4.15 – Aceptación del contrato de instalación del *Kinect Developer Toolkit*.

Una vez aceptados los términos y habiendo dado clic en instalar se presentará una ventana donde podemos observar el progreso de instalación, véase Figura 4.16.

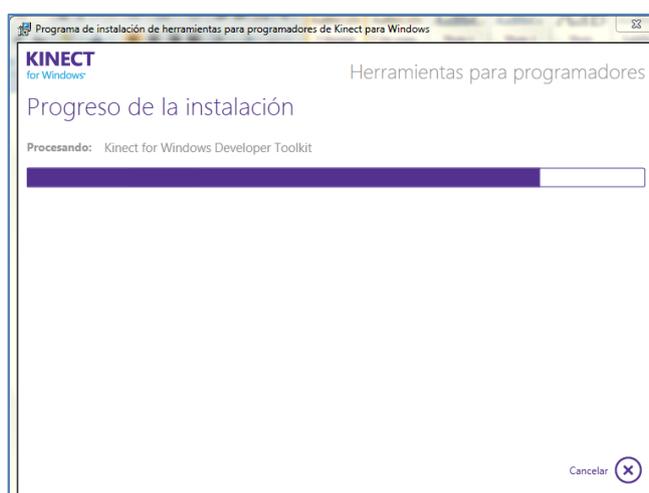


Figura 4.16 – Progreso de instalación del *Kinect Developer Toolkit*.

Ya completada la instalación se mostrará una ventana indicando que la instalación ha finalizado, cerramos dicha ventana y con esto la instalación del kit de desarrollo de Kinect ha culminado como se muestra en la Figura 4.17.

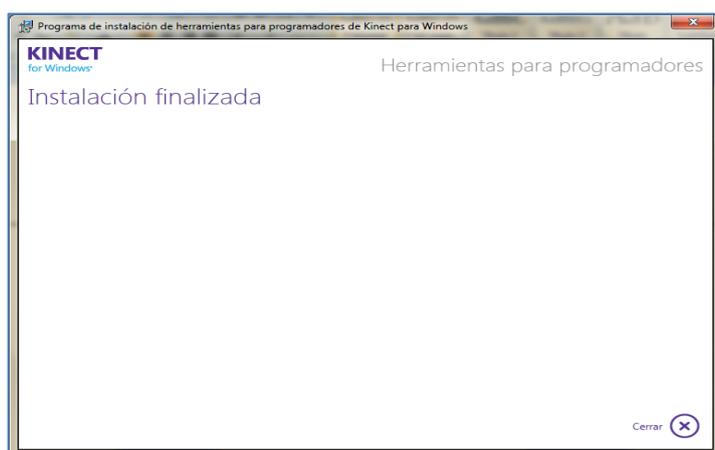


Figura 4.17 – Finalización de instalación del *Kinect Developer Toolkit*.

Sin embargo, posterior a la instalación debemos verificar que esta se haya realizado con éxito. Para esto, la propia instalación nos provee de algunos programas de demostración como podemos observar en la Figura 4.18.

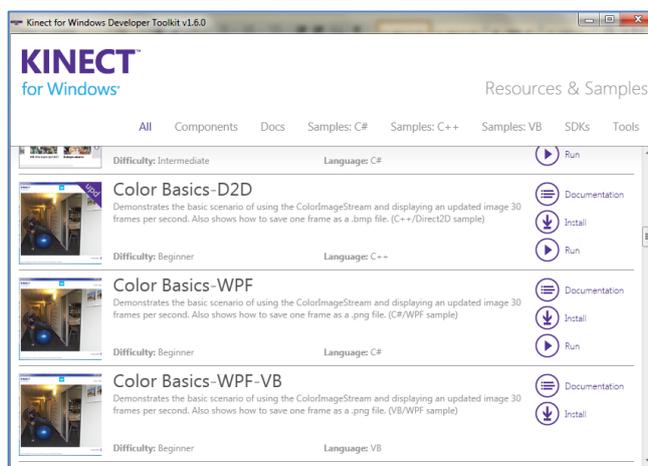


Figura 4.18 – Programa demostración del *Kinect Developer Toolkit*.

4.4. CALIBRACIÓN DEL SENSOR KINECT

Esta sección es una de las más importantes dentro del capítulo de adquisición de la señal de video 3D ya que de esta dependerá la fiabilidad y exactitud de los resultados. Con un sistema calibrado correctamente se obtendrán mejores resultados que con uno que no lo este, para esto se definirán dos parámetros de calibración: el primero la definición de los umbrales de operación del Kinect y el segundo los valores máximos y mínimos de inclinación del sensor los cuales serán detallados a lo largo de esta sección.

4.4.1. Definición de umbrales de medición

Al definir umbrales nos referimos a que se debe acotar el área de trabajo u operación del sensor ya que no existe una manera estándar

definida por Microsoft de como calibrar el Kinect, debido a que las aplicaciones del mismo son muy diversas. En esta sección desarrollaremos nuestra propia metodología para obtener un sistema de adquisición de video 3D calibrado de acuerdo a nuestros intereses.

Para nuestro análisis la metodología que utilizaremos para la calibración se basa en acotar la región de interés, que para efecto de nuestro estudio es la nariz del paciente, por lo que el primer paso a seguir es detectar el vector posición el cual está representado como $f(X, Y, Z)$ en donde X, Y, Z son la posición de la nariz en el espacio, estos valores X, Y, Z son los que deberán ser acotados.

Para nuestro estudio tenemos los siguientes rangos: la coordenada X y la coordenada Y deben estar en el rango de -0.05 a 0.05 metros y la coordenada Z entre 1.3 y 1.50 metros, estos valores son del paciente tomando como referencia el eje de coordenadas del sensor Kinect.

4.4.2. Ángulos de inclinación del sensor Kinect

Al decir ángulos de inclinación no se refiere netamente a un método de calibración del Kinect sino a un medio o canal que nos permitirá llevar a cabo esta tarea. El Kinect como se mencionó en capítulos anteriores tiene una base giratoria con respecto al eje X . Estos son los

llamados ángulos de elevación máximos y mínimos del sensor, es decir, nos vamos a ayudar de la variación de dichos ángulos hasta que nuestra región de interés entre en los umbrales definidos en la sección anterior. Para esto, es muy importante que el Kinect esté ubicado en la misma dirección que la nariz del paciente.

El sistema proveerá una interface en donde tendremos la opción de calibrar de dos formas: la primera forma es trivial, es decir moviendo la posición del paciente y la segunda mediante el programa moviendo los ángulos del Kinect por medio de la aplicación tal como se muestra en la Figura 4.19.



Figura 4.19 – Sistema no calibrado.

Como podemos observar en la Figura 4.19, el sistema se encuentra en estado no calibrado y nos podemos dar cuenta porque existe la etiqueta de color rojo que nos indica que no está calibrado. Además

nos presenta cuál de los valores se encuentra fuera del rango, para este caso es la coordenada Z de la posición de la nariz del paciente.

Para obtener el sistema calibrado como se mencionó anteriormente se deberá mover al paciente o cambiar los ángulos de inclinación del Kinect mediante los botones de flecha hacia arriba o hacia abajo, las cajas serán nuestros indicadores para decidir si nuestro sistema está calibrado o no.



Figura 4.20 – Sistema calibrado.

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS DE LOS MOVIMIENTOS DE LA CABEZA Y HOMBROS

Este capítulo se analiza cómo se da el movimiento de cada uno de los ejercicios vistos desde un espacio Euclídeo. Se denomina como espacio Euclídeo si tenemos un sistema de referencia formado por tres rectas perpendiculares entre sí (x, y, z) que se cortan en el origen $(0, 0, 0)$.

Para cada ejercicio vamos a observar que planos intervienen y que plano se descarta así como qué parámetros son los que vamos a medir. El capítulo está dividido en el análisis de: cabeceo, guiño, balanceo, levantamiento de hombros y remo.

5.1. ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO DE CABECEO

En este análisis vamos a contemplar que partes de nuestra cabeza son las más importantes para que podamos realizar los cálculos de los parámetros a medir. Como vimos en el Capítulo 1 se detallaron los diferentes ejercicios que vamos analizar y sus diferentes características de interés, uno de ellos es el ejercicio llamado cabeceo tal como se muestra en la Figura 1.1.

Si trasladamos el ejercicio a un plano de coordenadas XYZ en donde el eje X está en dirección a los hombros, la coordenada Y en dirección a la nariz del paciente y la coordenada Z hacia afuera en dirección al Kinect podemos darnos cuenta que el movimiento de cabeceo solo se realiza en el plano ZY, ya que es una rotación sobre el eje de las X como podemos observar en la Figura 5.1.

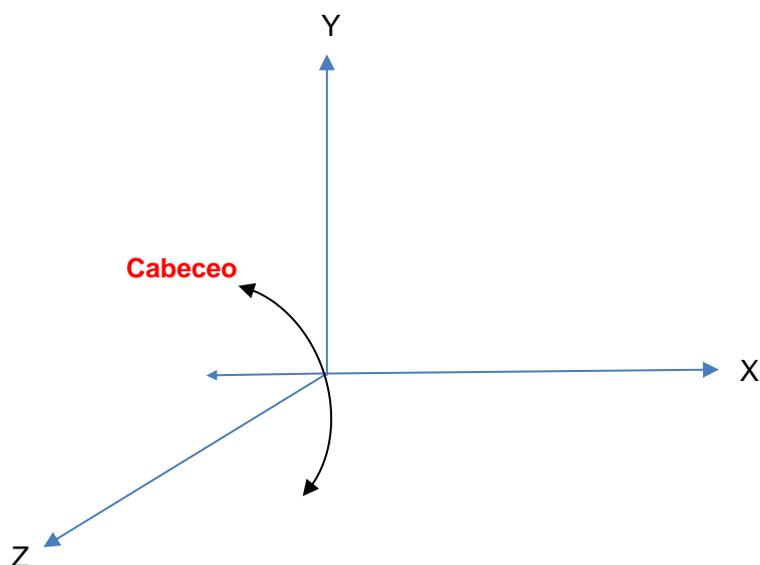


Figura 5.1 – Plano del movimiento de cabeceo.

En un planteamiento inicial para realizar la extracción de los ángulos de apertura de este ejercicio se tomó como referencia el punto medio de la cabeza que nos arroja el kit de desarrollo para el Kinect como se muestra en la Figura 5.2. Pero en la práctica los ángulos de este movimiento tomando como referencia el punto antes mencionado no eran significativos. Debido a esto, se tomó la nariz del paciente para realizar la extracción de los ángulos de apertura como podemos observar en la Figura 5.2, ya que estos valores eran más significativos.

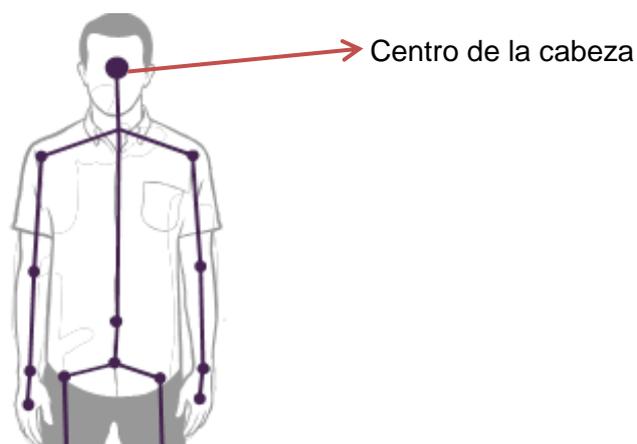


Figura 5.2 – Centro de la cabeza.

Para aclarar un poco por qué se escogió la nariz como punto de referencia tenemos que la misma posee características únicas, las cuales son que se encuentra en la parte central de la cabeza y es el punto más cercano al sensor Kinect. Si bien es cierto, podríamos escoger cualquier otro punto de la cara, pero con cualquier otro punto al realizar el movimiento de cabeceo y llegar a sus máximos y mínimos estos se verían comprometidos y dejarían de ser visible para el sensor ya que se ocultarían con la cabeza o barbilla respectivamente, por lo que nuestro punto de enfoque es la nariz, para esto nos vamos a ayudar de los puntos arrojados por el kit de desarrollo de Kinect, véase la Figura 5.3.

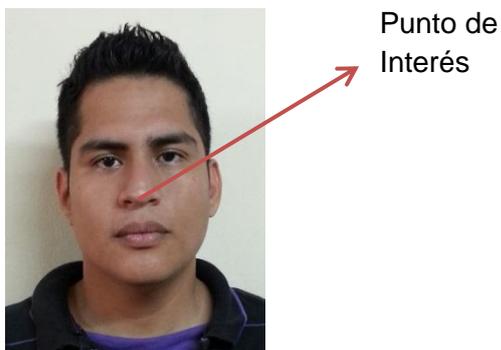


Figura 5.3 – Punto de interés nariz.

Una de las características que queremos obtener de este ejercicio es el ángulo de apertura y para el cálculo de dicho ángulo partimos de la premisa inicial la cual nos indica que dicho movimiento opera en el plano ZY, como se muestra en la Figura 5.4, por lo que podemos despreciar el movimiento que se realice en el eje de las X.

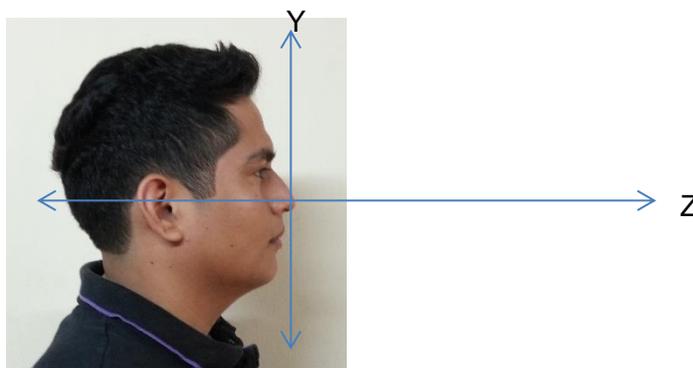


Figura 5.4 – Punto de interés nariz con planos YZ.

Este movimiento está compuesto por dos semi-ciclos, uno cuando sube “semi-ciclo positivo” y otro cuando baja “semi-ciclo negativo”. Cuando sube el valor en Z aumenta, así como también el valor en Y,

pero cuando baja el valor en Y disminuye y el Z aumenta, tal como se muestra en la Figura 5.5.

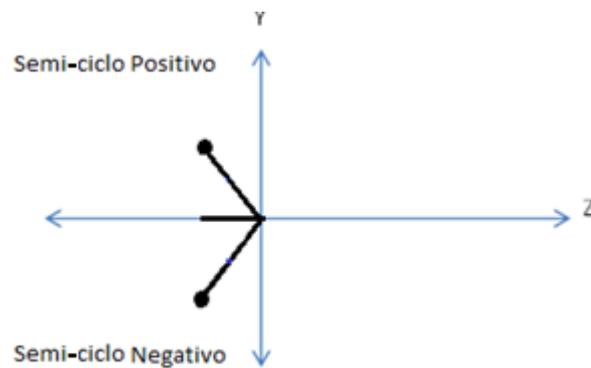


Figura 5.5 – Semi-ciclos para el movimiento de cabeceo.

5.2. ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO DE GUIÑO

El ejercicio Guiño o en inglés *Yaw*, como muestra en la Figura 3 y como se explicó en el capítulo 1 de este documento, encontramos que únicamente se realiza en el plano XZ, con Y como eje de rotación, véase la Figura 5.6.

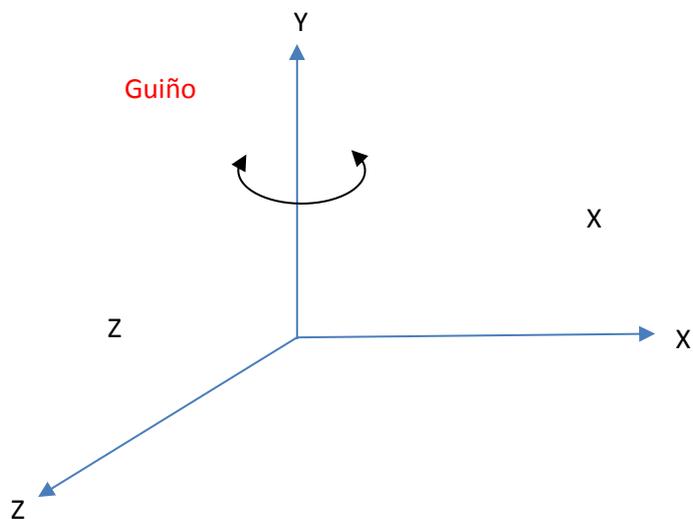


Figura 5.6 – Plano del movimiento de guiño.

Debido a la naturaleza del ejercicio los puntos que vamos a tomar de interés son la nariz y el centro de los hombros tal como se muestra en la Figura 5.7.

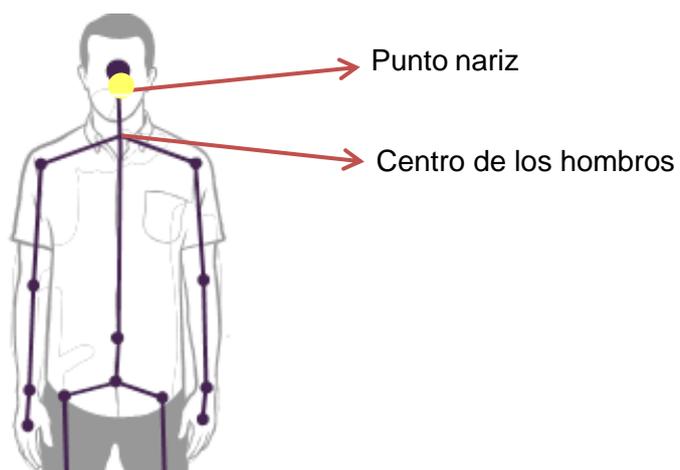


Figura 5.7 – Puntos de interés para el movimiento de guiño.

La estrategia para este ejercicio es definir como origen de coordenadas $(0, 0, 0)$ (x, y, z) respectivamente, un vector que se encuentre a la altura de la nariz en el eje Y con el valor de Z que tiene la posición del centro de los hombros. Así logramos que nuestro análisis no se vea afectado por los pequeños movimientos que pudiesen darse ajenos a nuestro interés. Si tomamos como origen el punto antes mencionado y la persona llega a moverse en el eje X el cálculo de ángulo no se ve afectado ya que se mueven ambos puntos, el centro y la nariz. Para este ejercicio despreciamos el eje Y ya que no es de nuestro interés.

Al igual que el ejercicio anterior, este ejercicio está compuesto por dos semi-ciclos uno cuando va a la derecha “semi-ciclo positivo”, y otro cuando va a la izquierda “semi-ciclo negativo”, esto lo podemos observar en la Figura 5.8.

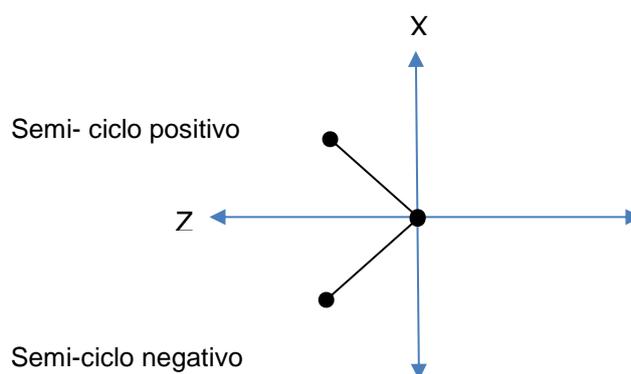


Figura 5.8 – Semi-ciclos del movimiento de guiño.

5.3. ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO DE BALANCEO

El ejercicio balanceo o en Inglés *Roll*, como se muestra en la Figura 2, consiste en movimientos de la cabeza de un lado de los hombros hacia otro formando un ángulo de rotación con respecto al eje Z.

Por las características de dicho movimiento, encontramos que este movimiento únicamente se realiza en el plano XY ya que es una rotación sobre el eje Z, como se muestra en la Figura 5.9.

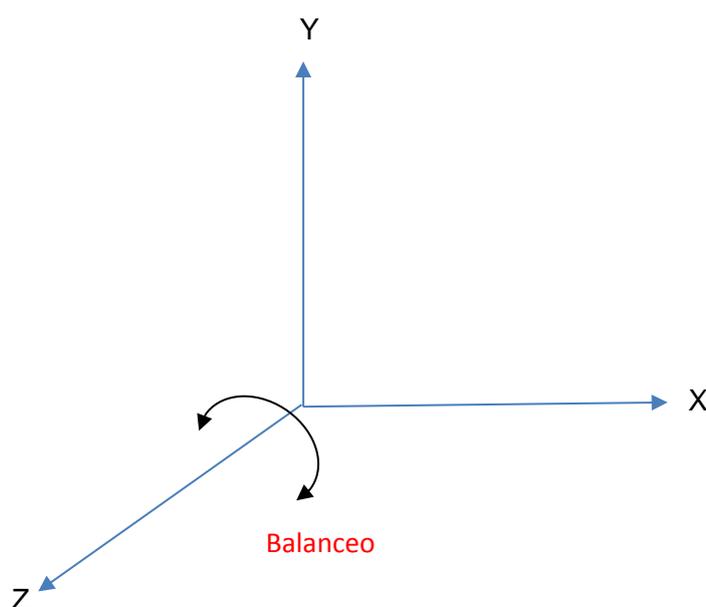


Figura 5.9 – Plano del movimiento de balanceo.

Continuando con el análisis del ejercicio llegamos a la conclusión que los puntos de interés son el centro de la cabeza y el centro de los hombros debido a la naturaleza del movimiento, véase la Figura 5.10.

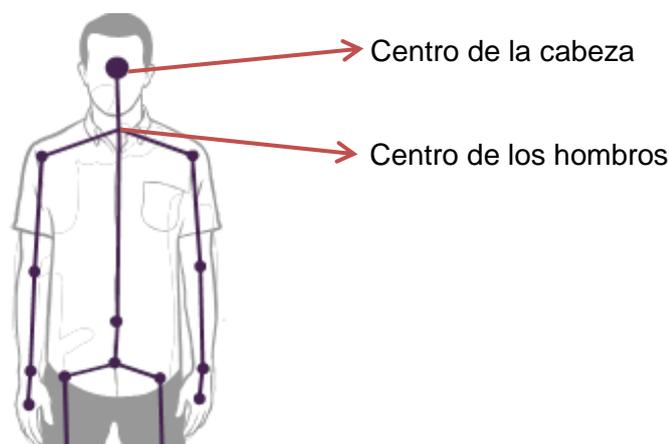


Figura 5.10 – Puntos de interés para el movimiento de balanceo.

Para este ejercicio se va a definir un origen de coordenadas $(0, 0, 0)$ (x, y, z) respectivamente, el vector del centro de los hombros, así logramos que nuestro análisis no se vea afectado por los pequeños movimientos que el paciente pudiese hacer.

Si tomamos como origen el punto antes mencionado y la persona llega a moverse en el eje X el cálculo de ángulo no se ve afectado ya que se mueven ambos puntos, el centro de los hombros y el centro de la cabeza. Para este ejercicio despreciamos el eje Z ya que no es de nuestro interés.

Al igual que el ejercicio anterior, este está compuesto por dos semi-ciclos uno cuando va a la derecha “semi-ciclo positivo” y otro cuando

va a la izquierda “semi-ciclo negativo”, tal como se muestra en la Figura 5.11.

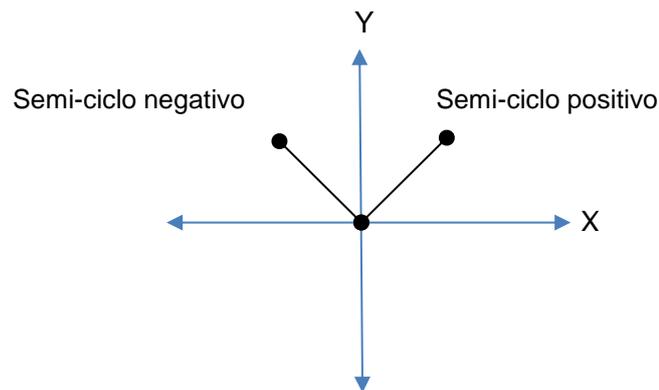


Figura 5.11 – Semi-ciclos para el movimiento de balanceo.

5.4. ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO DE LEVANTAMIENTO DE HOMBROS

Este ejercicio a diferencia de los ejercicios antes mencionados no se enfoca en los movimientos de la cabeza sino en los hombros, los cuales serán definidos como nuestros puntos de interés, véase la Figura 5.12.

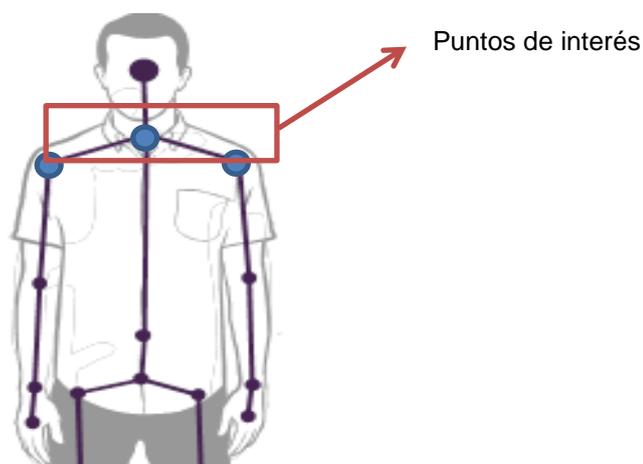
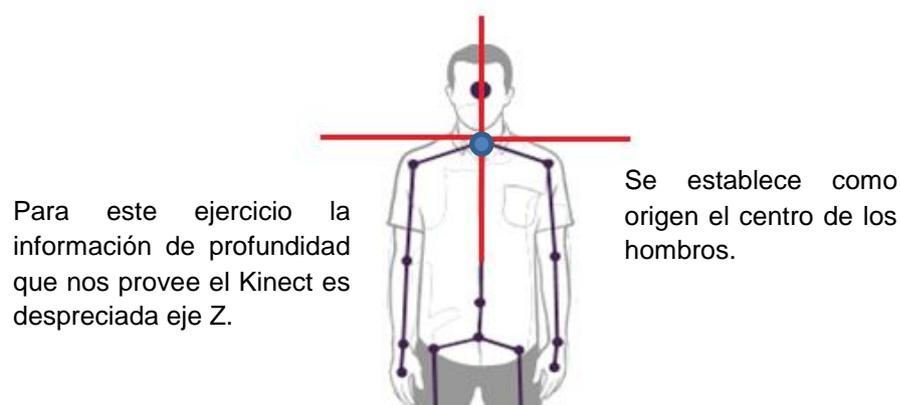


Figura 5.12 – Punto de interés para el movimiento de levantamiento de hombros.

Como mencionamos en el párrafo anterior, nos vamos a enfocar en los hombros y sus tres puntos que lo conforman [Centro de los hombros, Hombro derecho, Hombro izquierdo]. Para esto, nos ayudaremos del kit de desarrollo de Kinect que nos provee de las librerías necesarias para la obtención de dichos puntos.



Para este ejercicio la información de profundidad que nos provee el Kinect es despreciada eje Z.

Se establece como origen el centro de los hombros.

Figura 5.13 – Centro de coordenadas para el movimiento de levantamiento de hombros.

Como observamos en la Figura 5.13, la profundidad no es relevante para nuestro análisis y las características a extraer de este movimiento son las ya antes mencionadas, la única variación que presenta es al momento de hallar los ángulos de inclinación, los mismos que serán detallados en el próximo capítulo.

5.5. ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO DE REMO

Este se basa en el movimiento de los hombros hacia delante y atrás como se muestra en la Figura 5.14. Para este caso nuestros puntos de interés serán los mismos que el ejercicio levantamiento de hombros, es decir los tres puntos que conforman los hombros, véase la Figura 5.14.

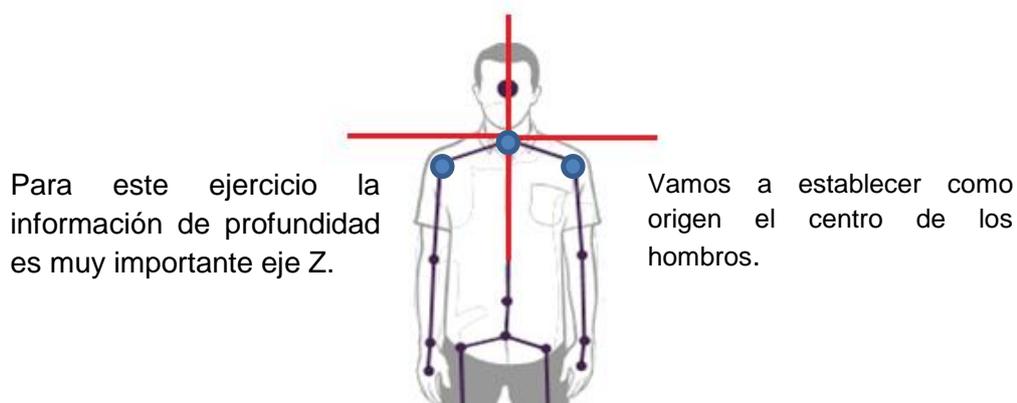


Figura 5.14 – Centro de coordenadas para el movimiento de remo.

Como se observa en la Figura 5.14, nuestros puntos de interés son los tres puntos que conforman los hombros [Centro de los hombros, Hombro derecho, Hombro izquierdo], al igual que el ejercicio levantamiento de hombros nos vamos a ayudar de las librerías proporcionadas por el Kit de desarrollo de Kinect para la detección de dichos punto.

Este ejercicio tiene la particularidad de que la profundidad es muy importante debido a que los hombros se mueven hacia atrás y adelante, por lo que nuestro análisis se realizara en los planos XZ y despreciaremos los movimientos que se den en el eje de las X ya que no son relevantes para nuestro cálculo.

CAPÍTULO 6

MEDICIÓN DE PARÁMETROS

En este capítulo revisaremos los diferentes parámetros que se van a medir para obtener resultados cuantitativos en el proceso de rehabilitación de pacientes que padecen de traumatismo cervical. También se mostrará el método utilizado para medir los ángulos de apertura, tiempos y velocidades de cada uno de los movimientos que fueron analizados en el capítulo anterior, así como también se revisarán los diferentes algoritmos utilizados en el proceso de detección de la nariz y estimación de los ciclos del movimiento.

6.1. OBTENCIÓN DEL CENTRO DE LA NARIZ

Esta es una de las secciones más importantes, de la correcta obtención de las coordenadas del centro de la nariz depende la

fiabilidad de la mayoría de ejercicios que se va a analizar (cabeceo, balanceo y guiño).

Para obtener el punto medio de la nariz se hará uso de las librerías proporcionadas por el Kit de Desarrollo de Kinect, estas nos proveen un método llamado *Get3DShape()*, la misma que devuelve un arreglo de vectores de 121 posiciones, en donde cada posición representa un vector 3D de cada una de las partes del rostro del participante. Para nuestro análisis nos interesa la posición 41, 42 y 36 ya que dichas posiciones son las consideradas de mayor importancia para el cálculo del centro de la nariz como se puede observar en la Figura 6.1.

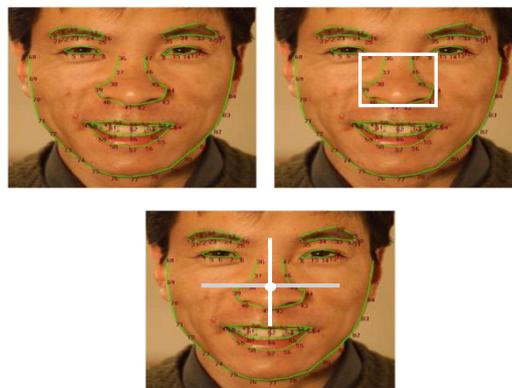


Figura 6.1 – Vector de ángulos para el cálculo del centro de la nariz.

Para obtener dicho punto se realizará las siguientes operaciones:

Para el valor de la profundidad tomamos el promedio de los valores en Z de los puntos 41 y 42 que son las posiciones más cercanas a la posición del Kinect.

$$\text{Float Z} = (\text{Punto [41].Z} + \text{Punto [42].Z})/2.0f;$$

El valor de la coordenada X la obtendremos de la suma entre el valor X del punto 41 y el promedio de los valores de X de los puntos 41 y 42 respectivamente.

$$\text{Float X} = \text{Punto [41].X} + (\text{Punto [41].X} + \text{Punto [42].X})/2.0f;$$

Para el valor de Y se utilizará la suma del valor de Y del punto 41 y el promedio entre los valores de Y de los puntos 36 y 41.

$$\text{Float Y} = \text{Punto [41].Y} + ((\text{Punto [36].Y} - \text{Punto [41].Y}) / 2.0f);$$

6.2. DETECCIÓN DE CICLOS DEL MOVIMIENTO

Una vez calculados y almacenados los ángulos en cada instante de tiempo, procedemos a calcular el tiempo que le toma completar cada repetición o ciclo del movimiento. Esta información nos va a ser de mucha utilidad para hallar el ángulo máximo, mínimo y la velocidad angular en cada uno de los ciclos o repetición del movimiento.

El objetivo es estimar el número de ciclos que se ejecutaron durante la realización del ejercicio y que tiempo se tomó en realizar cada uno

de ellos a partir del vector de ángulos y tiempos de ejecución del ejercicio, ver Figura 6.2 y 6.3, para esto tenemos lo siguiente:

Lista de ángulos con sus respectivos tiempos:

Llamaremos M a la estructura que contiene al par ordenado (a = ángulo, t = tiempo).

$$M = \{(a, t) (a_1, t_1) (a_2, t_2) \dots (a_n, t_n)\}$$

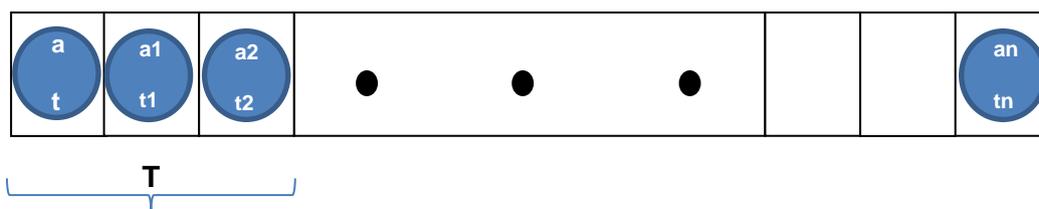


Figura 6.2 – Vector de ángulos.

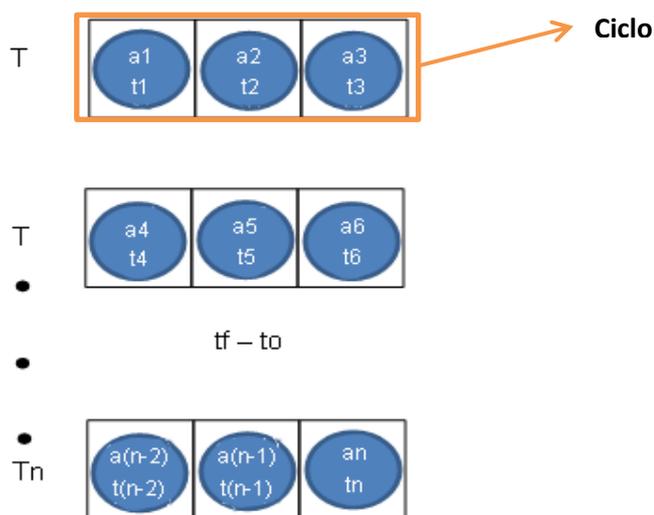


Figura 6.3 – Estimación de ciclos.

Teniendo en cuenta que el movimiento se asemeja al de un movimiento circular podemos concluir que para completar un ciclo tenemos que pasar dos veces por el origen del movimiento. En la siguiente secuencia de imágenes, ver Figura 6.4, si despreciamos la posición inicial podemos observar como efectivamente pasa dos veces por el origen cuando se completa un ciclo.

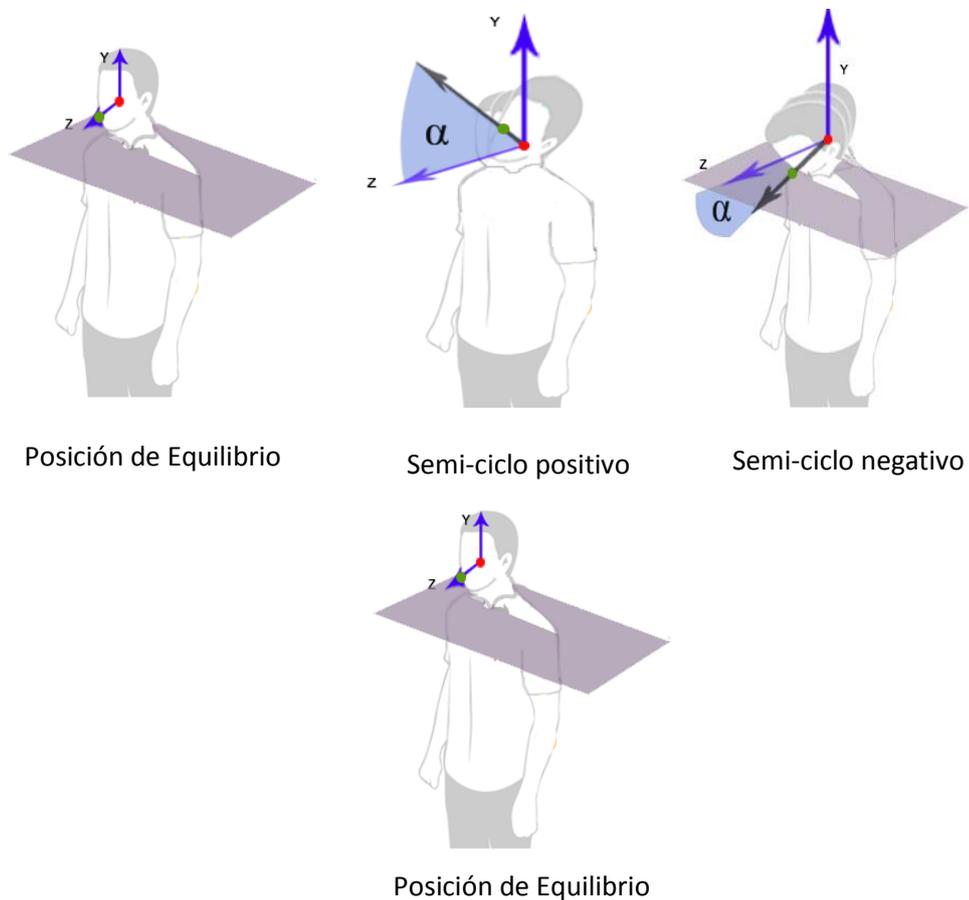


Figura 6.4 – Secuencia de un ciclo del movimiento.

En la secuencia de imágenes anterior, se idealizó el movimiento, pero en la escena real es muy difícil que pase por el origen, por lo que se definió un umbral muy cercano al origen para poder identificar cuando pasa por el mismo.

Para el diseño del algoritmo nos basamos en la premisa que cuando estamos cerca del origen del movimiento, el ángulo que se forma es muy cercano a cero, entonces el umbral del cual hablábamos en el párrafo anterior se refiere a los grados de libertad de dicho ángulo $[-5^{\circ}, 5^{\circ}]$.

6.3. CÁLCULO DE ÁNGULOS DE APERTURA

Para calcular el ángulo tenemos dos métodos: el primero utilizando el triángulo de Pitágoras y el segundo mediante el uso de una matriz de rotación en 3D.

Antes de utilizar uno de los métodos antes mencionados tenemos que realizar una traslación de ejes, ya que los puntos obtenidos mediante el kit de desarrollo de Kinect, toman como referencia el eje de coordenadas del sensor, por lo que debemos realizar la traslación de ejes de nuestro punto de interés hacia el centro de coordenadas del sensor como podemos observar en la Figura 6.5.

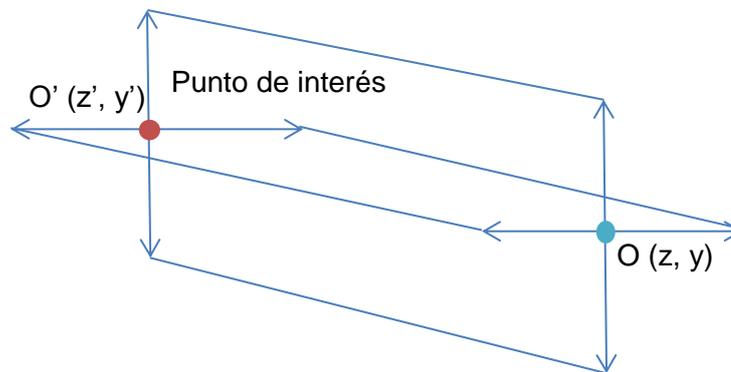


Figura 6.5 – Traslación de ejes.

6.4. CÁLCULO DE ÁNGULO DE APERTURA CABECEO, BALANCEO Y GUIÑO

Para el cálculo de los diferentes ángulos de apertura debemos de tener en cuenta en el espacio en el que operan dichos ejercicios.

Debido a las características propias del movimiento de cabeceo este solo opera en el plano ZY por lo que podemos asumir que $X=0$, en base a esta asunción el ángulo que vamos a calcular es el mostrado en Figura 6.6.

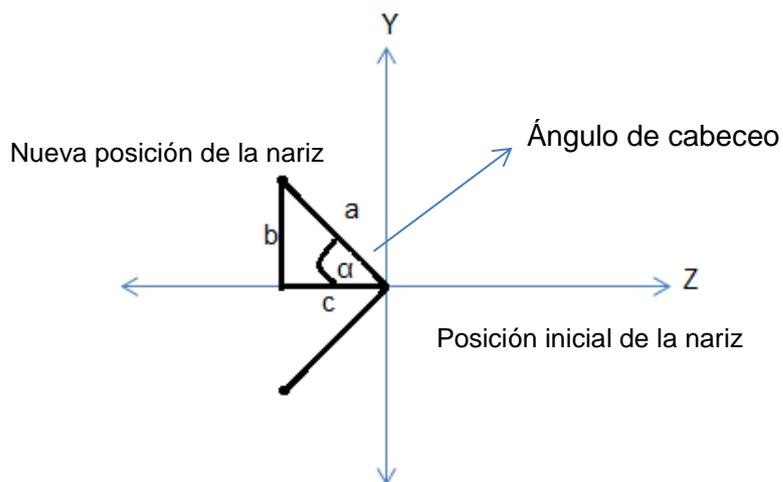


Figura 6.6 – Cálculo de ángulo de apertura para el movimiento de cabeceo.

Para el análisis del movimiento de balanceo no tomamos como referencia la posición de la nariz, sino la posición de la cabeza y el centro de los hombros, por lo que el ángulo que necesitamos calcular es el formado por los dos puntos antes mencionados con respecto al eje X.

Este solo opera en el plano XY ya que es una rotación sobre el eje de las Z por lo que podemos asumir el valor de $Z=0$ y el ángulo a calcular es el que se muestra en la Figura 6.7.

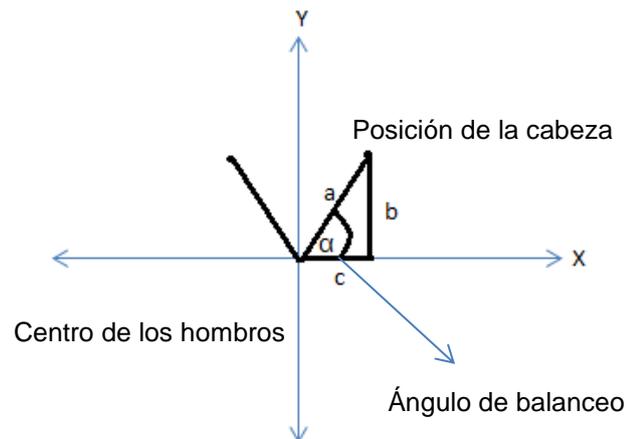


Figura 6.7 – Cálculo de ángulo de apertura para el movimiento de balanceo.

Para analizar el movimiento de guiño volvemos a tomar como referencia la nariz del paciente, este movimiento únicamente opera en el plano XZ, ya que es una rotación sobre el eje de las Y, por lo que podemos asumir el valor de $Y=0$ y el ángulo a calcular es el que se muestra en la Figura 6.8.

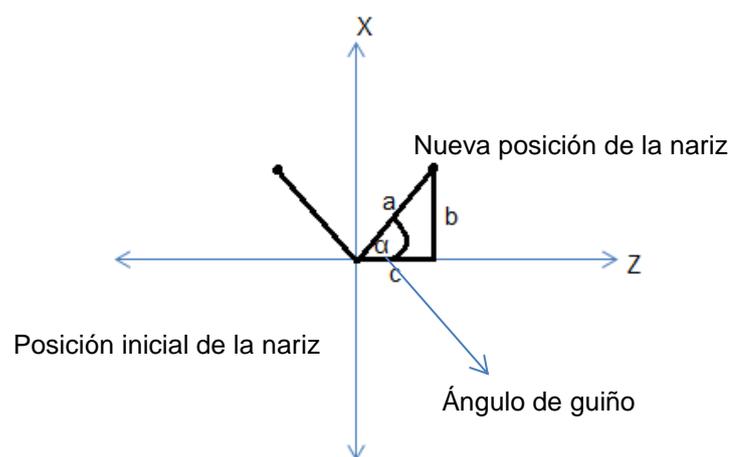


Figura 6.8 – Cálculo de ángulo de apertura para el movimiento de guiño.

Una vez definido cada uno de los tres ejercicios cabeceo, balanceo y guiño procedemos a calcular el ángulo correspondiente con cualquiera de los dos métodos antes mencionados.

Método del Triángulo de Pitágoras

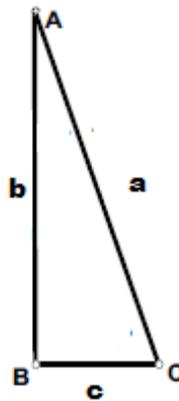


Figura 6.9 – Triángulo de Pitágoras

En el caso de movimiento de cabeceo y guiño formamos un triángulo rectángulo con la posición inicial de la nariz, y su posición final en un instante de tiempo dado, no siendo así para el movimiento de balanceo ya que para este formamos un triángulo rectángulo con el punto del centro de los hombros y la cabeza y así calculamos los ángulos en los distintos instantes de tiempo utilizando la siguiente fórmula.

$$tg \alpha = \frac{b}{c} = \frac{\text{Cateto puesto de } \alpha}{\text{Cateto adyacente de } \alpha}$$

Para el movimiento de cabeceo tenemos:

$$\mathbf{b} = (Y-Y_0)$$

$$\mathbf{c} = (Z-Z_0)$$

Para el movimiento de guiño tenemos:

$$\mathbf{b} = (X-X_0)$$

$$\mathbf{c} = (Z-Z_0)$$

Para el movimiento de balanceo tenemos:

$$\mathbf{b} = (Y-Y_0)$$

$$\mathbf{c} = (X-X_0)$$

Una vez calculado el ángulo de apertura respectivo en cada instante de tiempo estos deben ser almacenados en una estructura para su posterior utilización e interpretación.

Método Matriz de Rotación

Este método consiste en hallar el ángulo de rotación de la posición de la nariz para el movimiento de cabeceo y guiño, y la posición de la cabeza para el movimiento de balanceo con respecto a uno de los ejes.

Cada uno de los movimientos a analizar rota sobre un eje diferente, el movimiento de cabeceo rota sobre el eje X, balanceo sobre el eje Z y guiño sobre el eje Y.

En el espacio 3D existen tres matrices de rotación, una por cada uno de los ejes X, Y, Z, las cuales se pueden apreciar en las siguientes fórmulas.

$$R_z = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\text{sen } \theta & 0 & 0 \\ \text{sen } \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{Rotación sobre el eje Z}$$

$$R_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\text{sen } \theta & 0 \\ 0 & \text{sen } \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{Rotación sobre el eje X}$$

$$R_y = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \text{sen } \theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\text{sen } \theta & 0 & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{Rotación sobre el eje Y}$$

Para el caso en el que el vector posición rota sobre el eje Z, θ corresponde al ángulo de balanceo, cuando rota sobre el eje X, θ es el ángulo de cabeceo y cuando rota con respecto al eje Y, θ es el ángulo de guiño.

Para rotar el punto sobre el eje de las X tenemos:

$$\begin{bmatrix} x' & y' & z' & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & z & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ 0 & -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Resolviendo tenemos el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\begin{cases} \mathbf{X}' = X \\ \mathbf{Y}' = Y \cos \Theta - Z \sin \Theta \\ \mathbf{Z}' = Y \sin \Theta + Z \cos \Theta \end{cases}$$

(X', Y', Z') son las nuevas posiciones 3D de la nariz.

Resolviendo el sistema de ecuaciones podemos hallar el ángulo de rotación, el cual sería equivalente al ángulo de inclinación que deseamos calcular.

De las tres ecuaciones resultantes, la de X' la podemos despreciar, obteniendo así dos ecuaciones con una incógnita, una de las formas de resolver podría ser aplicando algunas identidades trigonométricas sobre cualquiera de ellas o resolviendo el sistema de ecuaciones.

Resolviendo el sistema de ecuaciones tenemos:

$$\mathbf{a.} \quad Y \cos \Theta - Z \sin \Theta - Y' = 0$$

$$\mathbf{b.} \quad Y \sin \Theta + Z \cos \Theta - Z' = 0$$

Multiplicamos **a** por el factor Y , **b** por el factor Z y luego sumamos las dos ecuaciones obteniendo como resultado:

$$(Y^2) \cos \Theta + YZ \sin \Theta - YZ \sin \Theta + (Z^2) \cos \Theta - YY' - ZZ' = 0$$

$$\mathbf{Cos} \Theta = ((Y'Y) + (Z'Z)) / ((Y^2) + (Z^2))$$

$$\mathbf{\Theta} = \text{Acos} ((Y'Y) + (Z'Z)) / ((Y^2) + (Z^2))$$

De esta manera calculamos el ángulo de apertura utilizando la matriz de rotación en 3D, en este caso se lo realizó con respecto al eje X, para hallar los ángulos con respecto a los otros ejes se debe utilizar su matriz correspondiente y efectuar el mismo procedimiento.

Medición de ángulos de levantamiento de hombros

Uno de los primeros pasos para la estimación del ángulo de apertura, es capturar la posición inicial (hombro en reposo y espalda recta) de cada uno de los puntos de interés [hombro derecho, hombro izquierdo, centro de los hombros] y sus ángulos iniciales utilizando el método del triángulo de Pitágoras.

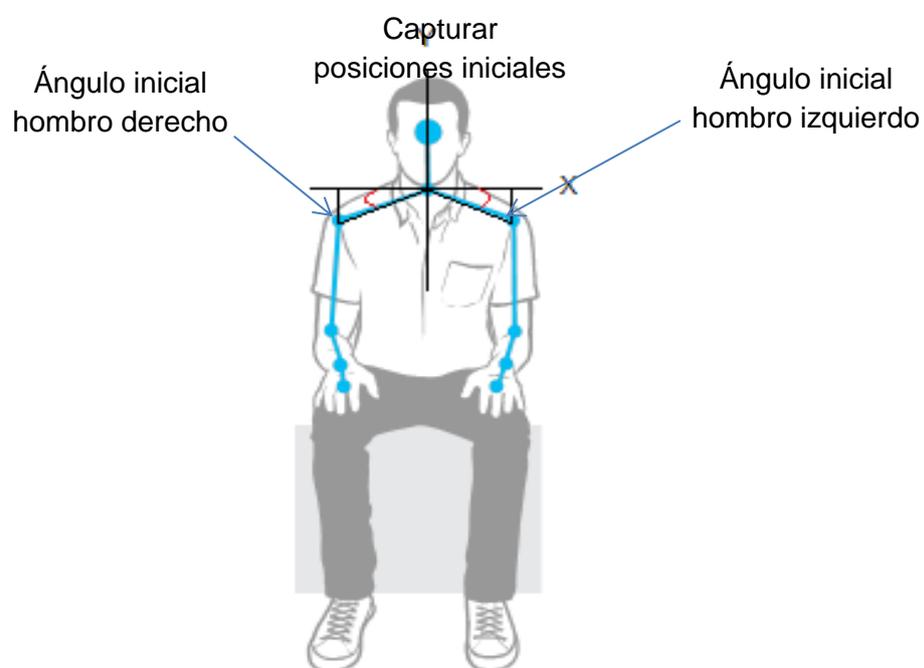


Figura 6.10 – Ángulos del movimiento de levantamiento de hombros.

Luego de calcular los valores iniciales teniendo fijo los hombros y como referencia el centro de los mismos, procedemos a estimar los nuevos puntos de los hombros y sus respectivos ángulos de apertura como se muestra en la Figura 6.11.

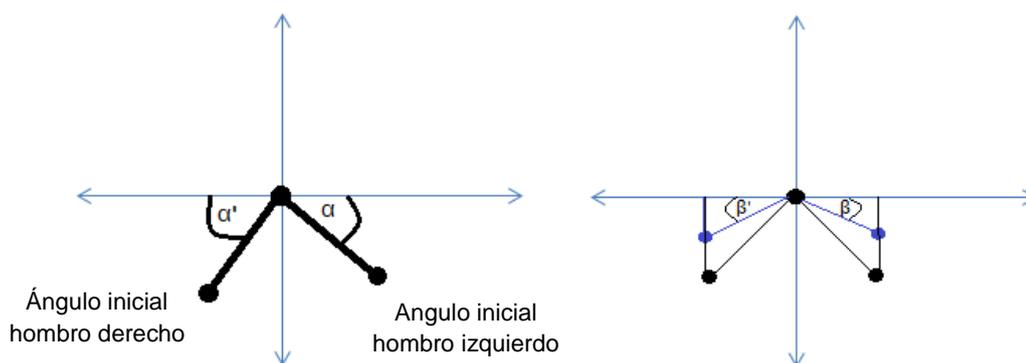


Figura 6.11 – Ángulos en el plano del movimiento de levantamiento de hombros.

Para calcular el ángulo de apertura de los hombros tenemos que restar el ángulo inicial del nuevo ángulo formado en un tiempo t determinado.

$$\text{Ángulo de Apertura Izquierdo} = \alpha - \beta'$$

$$\text{Ángulo de apertura Derecho} = \alpha' - \beta$$

Para el cálculo de los ángulos de apertura α y β vamos a utilizar el método del triángulo de Pitágoras, véase Figura 6.12.

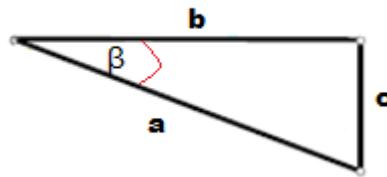


Figura 6.12 – Triángulo de Pitágoras para el cálculo de ángulos de apertura.

De esta manera, con el punto del centro de los hombros y el nuevo punto (X, Y) armamos un triángulo rectángulo y calculamos el ángulo en los distintos instantes de tiempo utilizando la siguiente fórmula.

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{b}{c} = \frac{\text{Cateto opuesto de } \beta}{\text{Cateto adyacente de } \beta}$$

Entonces tenemos:

$$\mathbf{b} = (Y - Y_0)$$

$$\mathbf{c} = (X - X_0)$$

Una vez calculado el ángulo de apertura en cada instante de tiempo este debe ser almacenado en una estructura para su posterior utilización e interpretación.

Medición de ángulos del movimiento de remo

Para la estimación del ángulo de apertura, vamos a capturar la posición inicial (hombro en reposo y espalda recta) de cada uno de los puntos de interés [Hombro derecho, Hombro izquierdo, Centro de los hombros] y sus ángulos iniciales utilizando el método del triángulo de Pitágoras.

Luego de calcular los valores iniciales teniendo fijo los hombros y como referencia el centro de los mismos, procedemos a estimar los nuevos puntos de los hombros y sus respectivos ángulos de apertura como se muestra en la Figura 6.13.

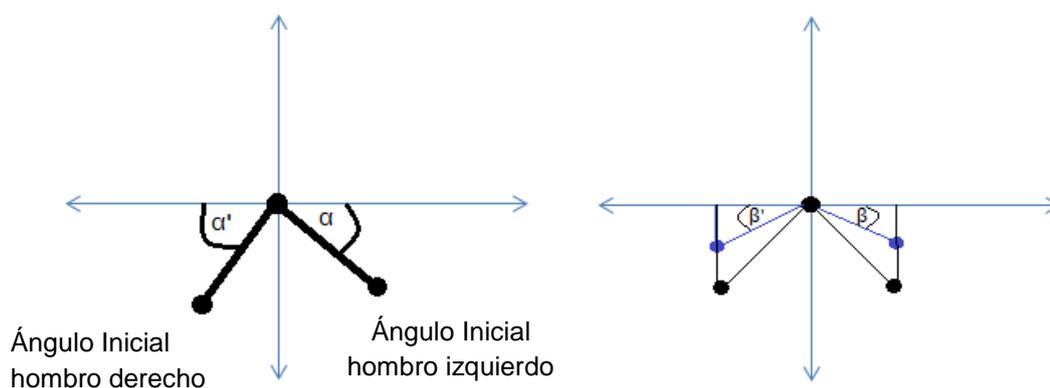


Figura 6.13 – Ángulos en el plano del movimiento de remo.

Al igual que el ejercicio anterior, realizamos el cálculo de los ángulos de apertura de los hombros se obtiene de la resta entre el ángulo inicial y el nuevo ángulo formado en un tiempo t determinado.

$$\text{Ángulo de Apertura Izquierdo} = \alpha - \beta$$

$$\text{Ángulo de apertura Derecho} = \alpha' - \beta'$$

Para el cálculo del ángulo de apertura α y β vamos a utilizar el método del triángulo de Pitágoras mostrado anteriormente.

De esta manera, con el punto del centro de los hombros y el nuevo punto (X, Z) armamos un triángulo rectángulo como se muestra en la

Figura 6.12 y calculamos el ángulo en los distintos instantes de tiempo utilizando la siguiente formula.

$$tg \beta = \frac{b}{c} = \frac{\text{Cateto opuesto de } \beta}{\text{Cateto Adyacente de } \beta}$$

Entonces tenemos: **b** = (Y-Y₀)

c = (X-X₀)

Una vez calculado el ángulo de inclinación en cada instante de tiempo estos deben ser almacenados en una estructura para su posterior utilización e interpretación.

6.5. MEDICIÓN DE TIEMPO Y VELOCIDAD DE LOS

EJERCICIOS

Para calcular la velocidad angular como se muestra en la Figura 6.14 y el tiempo de los movimientos de cabeceo, balanceo, guiño, remo y levantamiento de hombros, nos vamos a ayudar del cálculo de los ciclos realizados en la sección anterior. Debido a que nuestro interés es estimar la velocidad y los tiempos por cada uno de los ciclos con el fin de presentar después de cada terapia los resultados parciales por repetición.

La velocidad que nos interesa estimar su valor es la velocidad angular,

la misma que obedece a la siguiente fórmula: $\omega = \frac{\Delta\beta}{\Delta t}$

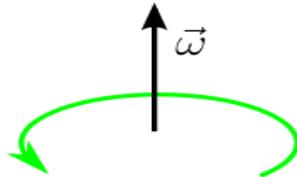
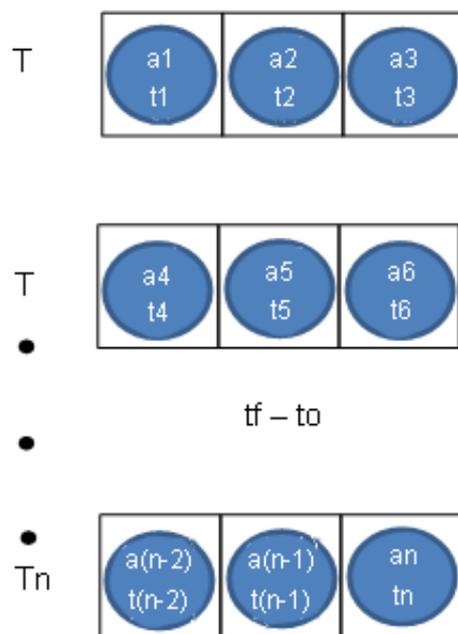


Figura 6.14 – Representación de la velocidad angular.

Entonces tenemos que la velocidad angular es la relación entre el ángulo recorrido y el tiempo que tomó realizar dicho movimiento. De esta forma, según el proceso explicado en la sección anterior tenemos que sacar el ángulo máximo y el mínimo, su diferencia debe ser dividida para el tiempo que tomó completar el ciclo, es decir $t_f - t_o$ y así tenemos el valor de la velocidad angular en un período dado como se muestra en la Figura 6.15.



$$W = \frac{\Delta a}{\Delta t} \Rightarrow \frac{(a3 - a1)}{(t3 - t1)}$$

Figura 6.15 – Cálculo velocidad angular.

CAPÍTULO 7

RECOLECCIÓN Y VISUALIZACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo vamos a observar los tipos de resultados proporcionados por el sistema. Para esto, primero se va a analizar cómo fueron almacenados, los valores tomados de cada ejercicio que realizó el paciente.

Vamos a encontrar dos clases de resultados, los resultados parciales generados por terapia y los resultados generales generados para un conjunto de terapias a lo largo del proceso de rehabilitación del paciente.

Ambos tipos de resultados muestran gráficos estadísticos en forma de barra y el último resultado muestra adicionalmente un gráfico de

líneas. El objetivo de los gráficos es facilitar al médico la visualización ya sea del progreso o del resultado de una visita del paciente.

7.1. ESTRUCTURAS DE ALMACENAMIENTO DE RESULTADOS

Antes de mencionar como se almacenaron los valores de los ejercicios, cabe recalcar que las estructuras donde se almacenan los resultados son muy importantes ya que de ellas depende que valores se podrán luego visualizar como resultado de los ejercicios que realiza el paciente y de no tener una buena estructura de almacenamiento no se podrá tener un buen análisis de los resultados.

Como se mencionaba anteriormente uno de los dos tipos de resultados son los resultados parciales, estos son resultados temporales y podrán ser consultados únicamente después de haber finalizado la terapia correspondiente, no siendo así los resultados generales que nos muestran un resumen de cada una de sus terapias.

Por lo antes mencionado tendremos en nuestra base de datos almacenados el resumen de cada una de las terapias, estos serán: ángulos, tiempos y velocidades promedios para ser consultadas en

cualquier momento por el médico y revisar la evolución del paciente con traumatismo cervical.

Los resultados serán expresados en gráficos estadísticos que esquematicen la evolución del paciente. Después de cada terapia el médico podrá observar los siguientes gráficos y los resultados quedarán almacenados en la base de datos para poder ser visualizados en cualquier otro momento.

7.2. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS PARCIALES

En esta sección presentaremos los resultados obtenidos una vez terminada la terapia la cual está formada de varias repeticiones (ciclos) del mismo ejercicio. Este tipo de resultados es importante para el médico ya que en él se puede observar a nivel de la terapia realizada que valores de ángulos, velocidad y tiempo obtuvo el paciente.

Como se mencionó anteriormente los resultados serán expresados en forma de gráficos entre ellos tenemos el gráfico de ángulos máximos y mínimos como se puede apreciar en la Figura 7.1, la misma que nos muestra los valores de los ángulos en cada repetición, esto nos permitirá observar el comportamiento del paciente a lo largo de una

terapia. Cada onda que se muestra representa una repetición y las líneas superior e inferior corresponden a los ángulos de apertura promedio máximos y mínimos en donde la línea roja representa el máximo y la línea azul el mínimo.

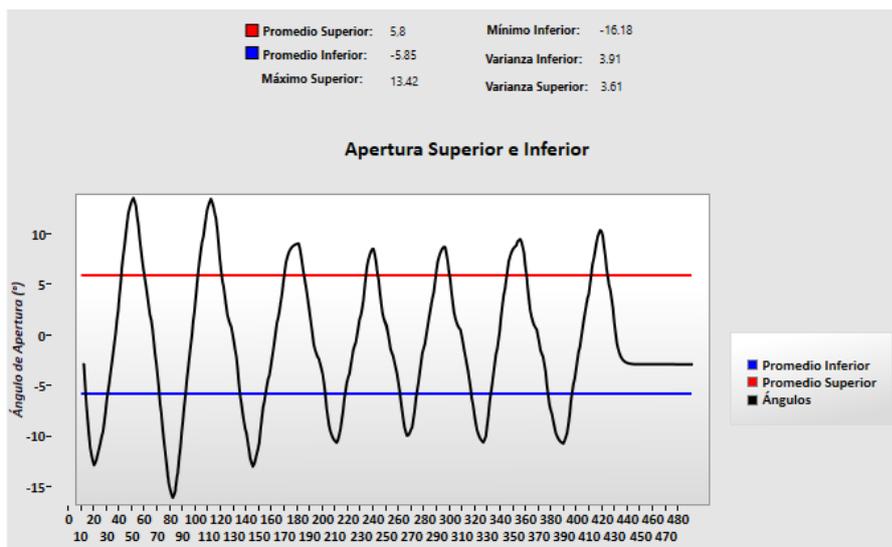


Figura 7.1 – Grafico de ángulos máximos y mínimos

De cada uno de los ejercicios realizados se obtiene un promedio de los ángulos de apertura, este valor luego es almacenado para ir formando el progreso del paciente.

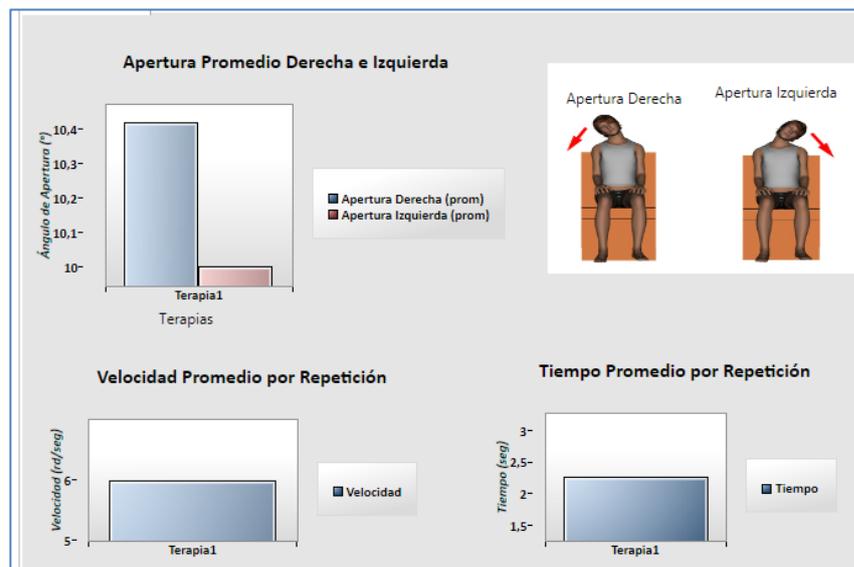


Figura 7.2 – Vista de resultados parciales.

Otra sección de los resultados parciales son los gráficos de barras como se muestran en la Figura 7.2, y la cual contiene información como:

- **Apertura promedio.-** Representa el valor promedio de los ángulos de apertura obtenidos en cada una de las repeticiones.
- **Velocidad promedio.-** Es el promedio de las velocidades obtenidas en cada repetición, este parámetro es de mucha utilidad ya que este nos indica la facilidad con la que el paciente realiza el ejercicio.
- **Tiempo promedio.-** Representa el tiempo promedio que duró cada repetición.

Para poder ilustrar de una mejor manera los gráficos que se muestran en los resultados parciales hemos tomado como referencia la sesión de terapia de un paciente y los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Resultados parciales para el movimiento de guiño.

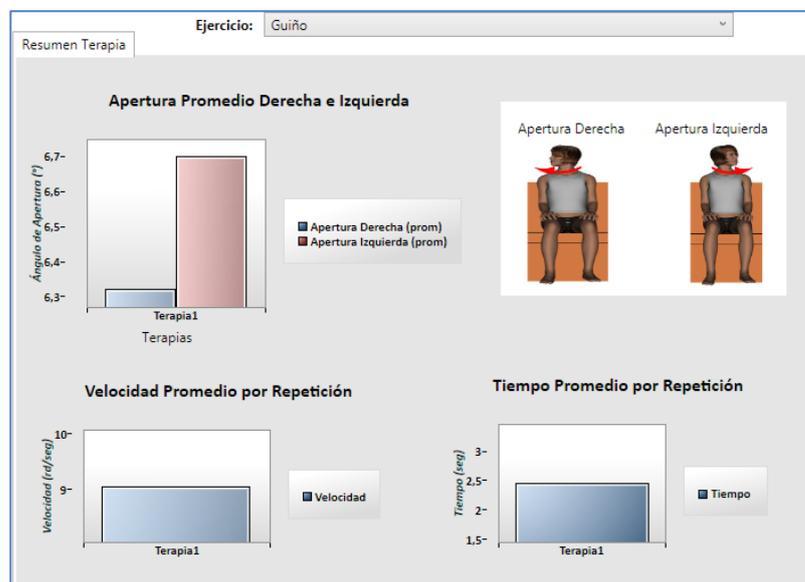


Figura 7.3 – Resultado parcial para el movimiento de guiño.

Podemos observar en la Figura 7.3, que el paciente tiene una mayor dificultad en realizar el movimiento de la cabeza hacia el lado derecho.

Resultados parciales para el movimiento de balanceo

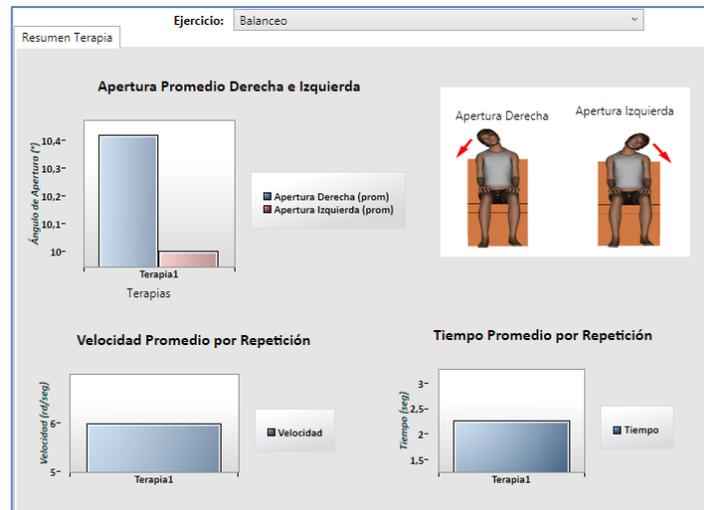


Figura 7.4 – Resultado parcial para el movimiento de balanceo.

En la Figura 7.4, podemos observar que el paciente presenta mayor dificultad en los movimientos de la cabeza hacia el lado izquierdo.

Resultados parciales para el movimiento de cabeceo

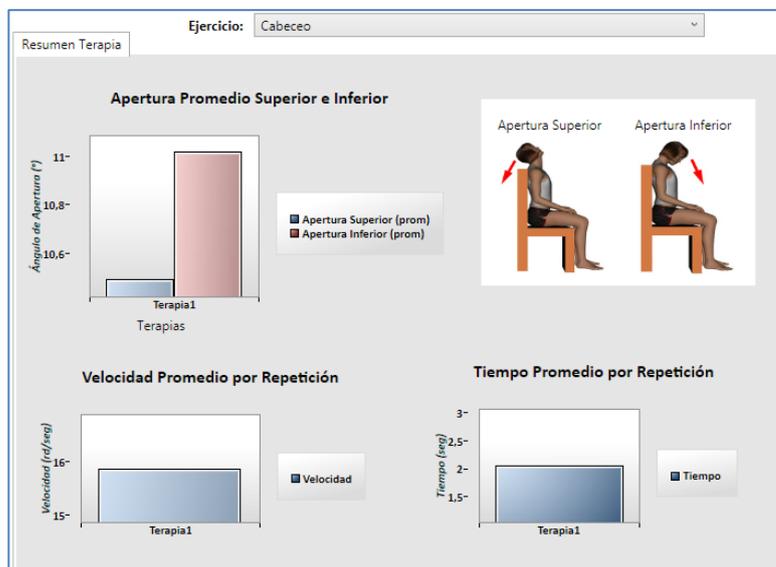


Figura 7.5 – Resultado parcial para el movimiento de cabeceo.

En la Figura 7.5, podemos observar que el paciente presenta mayor dificultad en los movimientos hacia abajo.

Resultados parciales para el movimiento de levantamiento de hombros

Para este ejercicio se presentan dos gráficos que corresponde a los hombros del paciente el primero es el hombro derecho y el segundo el izquierdo.

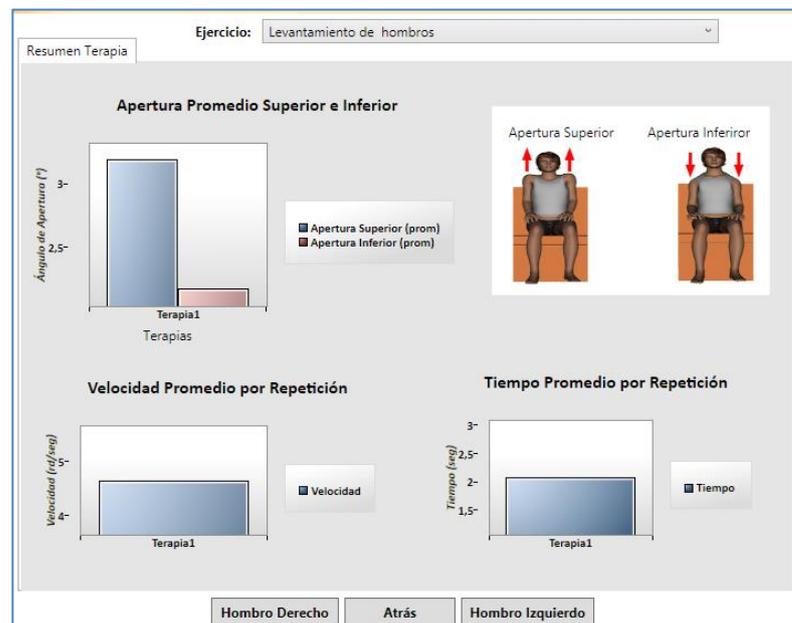


Figura 7.6 – Resultado parcial para el movimiento de levantamiento de hombro derecho.

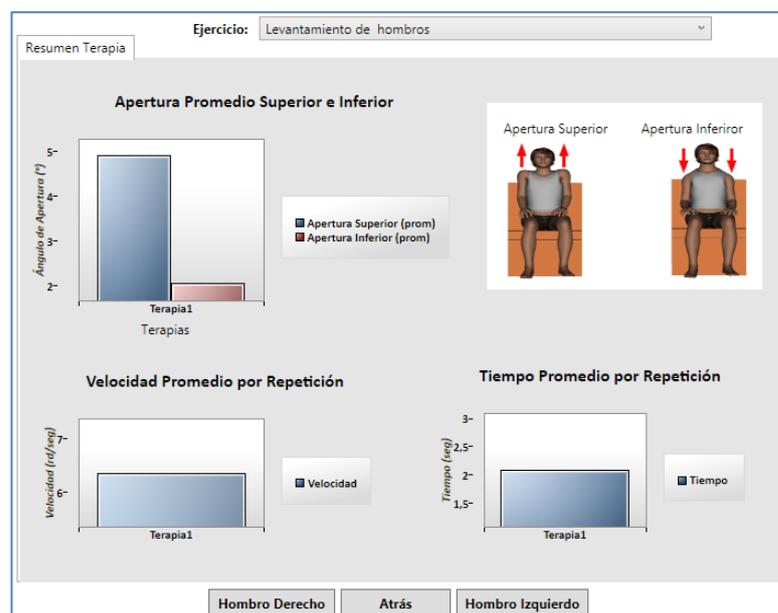


Figura 7.7 – Resultado parcial para el movimiento de levantamiento de hombro izquierdo.

Como podemos ver en las Figura 7.6 y 7.7, el paciente levanta más el hombro derecho que el izquierdo.

Resultados parciales para el movimiento de remo

En este ejercicio también se presentan dos gráficos que corresponden a los hombros del paciente, el primero es el hombro derecho y el segundo es el hombro izquierdo.

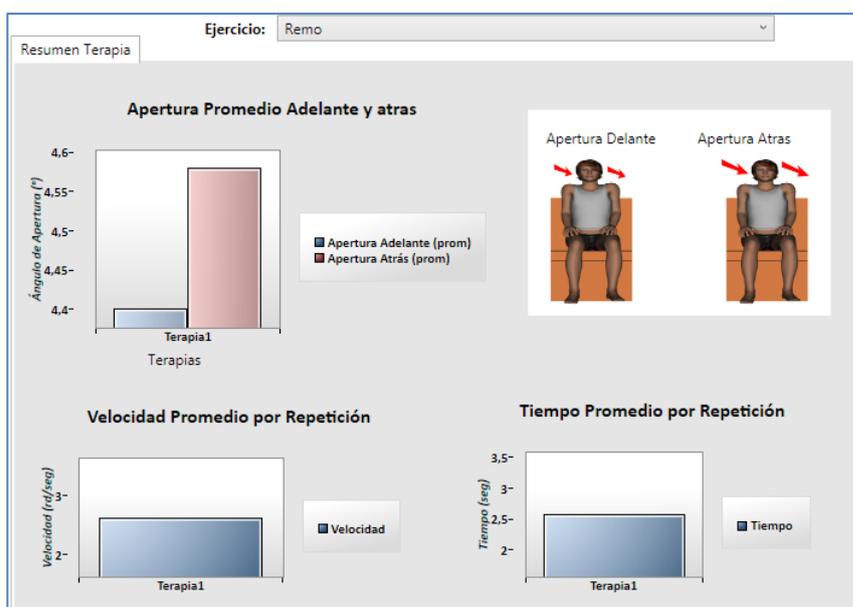


Figura 7.8 – Resultado parcial para el movimiento de remo derecho.

Como se muestra en la Figura 7.8, el paciente tiene mayor apertura del hombro derecho hacia atrás que adelante.

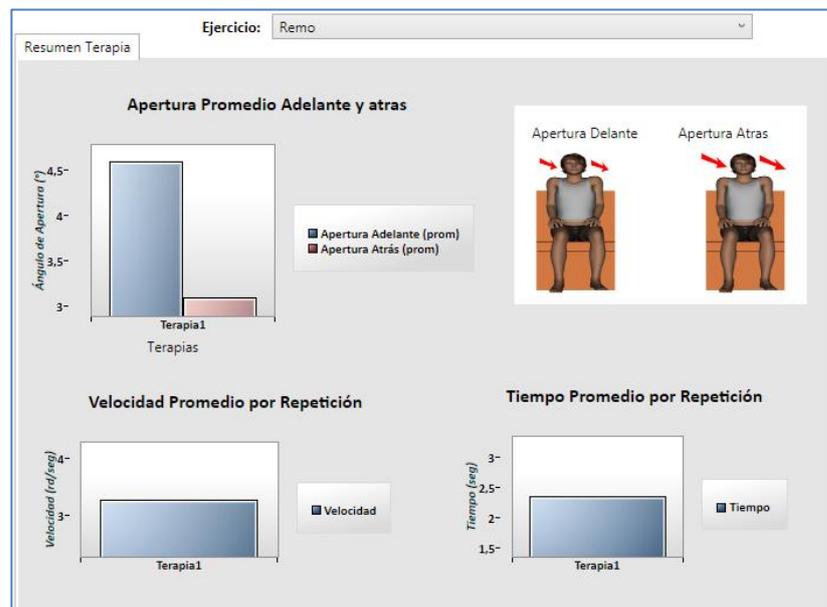


Figura 7.9 – Resultado parcial para el movimiento de remo izquierdo.

Como se observa en la Figura 7.9, el paciente tiene mayor apertura del hombro izquierdo hacia adelante que hacia atrás.

Como es la primera sesión del paciente los ángulos de apertura son pequeños. El paciente sigue realizando las sesiones hasta completar las 25 terapias que le corresponden.

De cada uno de estos resultados parciales por terapia se saca su resumen y es almacenado en la base de datos para su respectiva consulta de resultados acumulados o de historia clínica.

7.3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS GENERALES O HISTÓRICOS

De los dos tipos de resultados los históricos son los más importantes en el sistema, en ellos se observa como el paciente ha evolucionado a medida de que transcurre su tratamiento de fisioterapia. Para el médico es un gran apoyo, ya que puede determinar si el paciente presenta una mejoría o no, incluso puede visualizar para qué lado del movimiento el paciente presenta un mayor progreso o una mayor dificultad.

Para la visualización de los resultados generales dentro del proyecto se tendrá una pantalla de búsqueda del paciente con un botón para consultar su historial clínico como podemos observar en la Figura 7.10.

Información del Paciente		
Datos Paciente		
Cédula:	0926298142	Nacionalidad: Ecuatoriana
Apellidos:	López Pinargote	Ocupación: Sistemas
Nombres:	César Alfonso	Estado Civil: Soltero
Enfermedad:	Traumatismo Cervical	Ciudad: Guayaquil
Sexo:	M	email: alfonsojp89@hotmail.com
Fec. Nac:	29/11/1989 0:00:00	Fec. Ingreso: 18/04/2013 12:49:27
Dirección:	Cdla. Florida Norte Mz 601 V1	Domicilio: 042257017
		Celular: 0994333609
		Oficina: 042257017

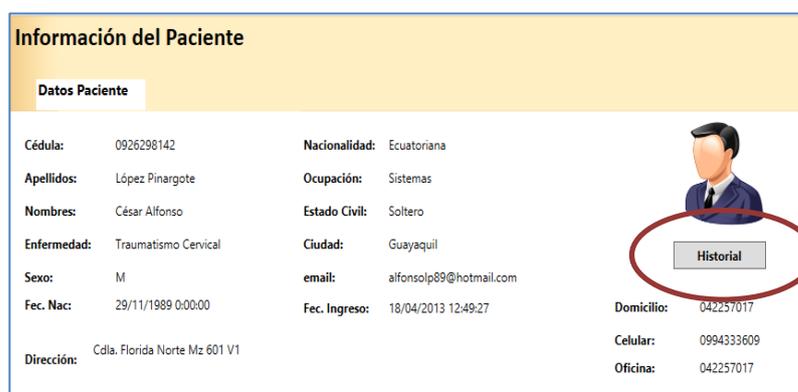


Figura 7.10 – Información del paciente.

Al presionar el botón de historial el sistema nos mostrara una serie de gráficas de resúmenes acumulados de cada una de las terapias ejecutadas según el tratamiento que lleve a cabo el paciente.

Los resultados históricos se presentan por cada uno de los ejercicios y toman como valor el promedio de cada una de las visitas que ha realizado el paciente.

Estructura de los gráficos históricos o generales

Existen 3 tipos de gráficos históricos:

1. Un gráfico de barras cuyo eje de las "x" representa cada una de las terapias que ha tenido el paciente y el eje de las "y" representa el ángulo de apertura promedio. El gráfico está compuesto de dos barras, una de color azul que nos indica el promedio de los ángulos hacia el lado derecho del movimiento y la segunda de color rojo que nos indica el promedio de los ángulos hacia el lado izquierdo, véase Figura 7.11.

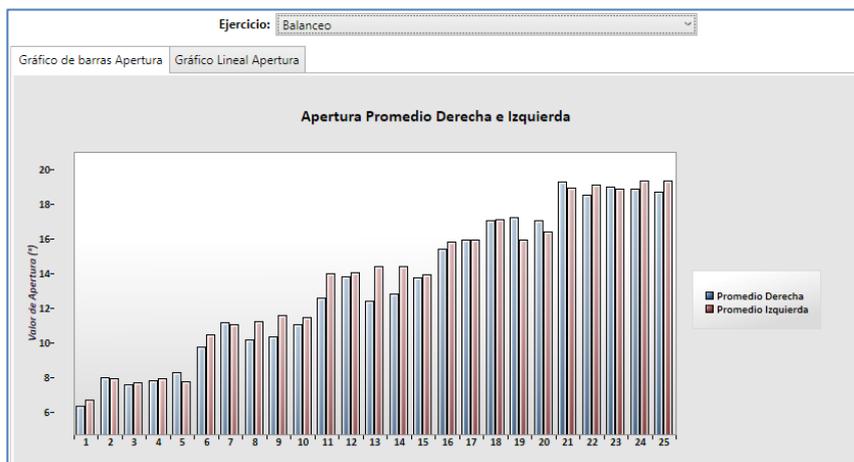


Figura 7.11 – Gráfico de barras de evolución del paciente.

2. Un gráfico lineal, véase Figura 7.12, en donde el eje de las “x” representa cada una de las terapias y el eje de las “y” el valor del ángulo de apertura en grados. El gráfico tiene dos líneas donde cada una representa el promedio del ángulo de apertura medido en cada terapia de acuerdo al ejercicio que se esté realizando.

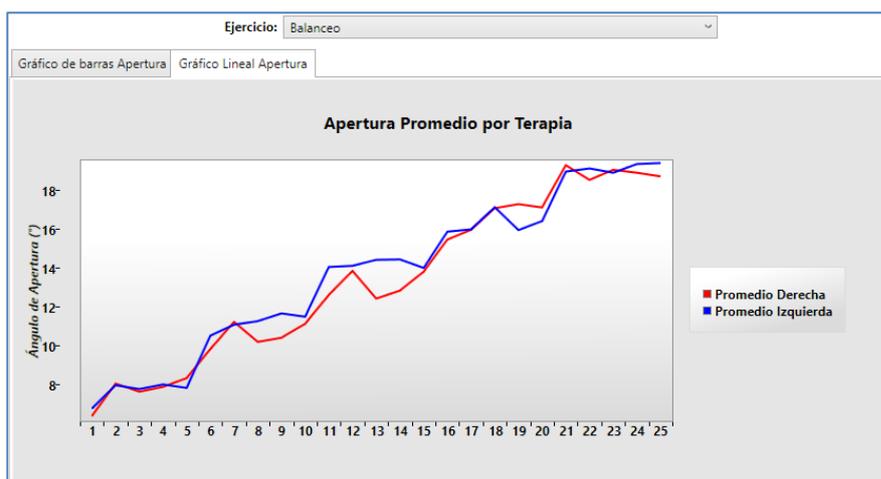


Figura 7.12 – Gráfico lineal de evolución del paciente.

3. Un gráfico comparativo de ondas, véase Figura 7.13, en donde el eje de las “x” representa los puntos capturados y el eje de las “y” el valor del ángulo en dicho punto. Este gráfico nos permite realizar comparaciones entre las ondas del movimiento, la onda del movimiento no indica como el paciente realizó el ejercicio y se pueden realizar comparaciones entre dos visitas o más de un mismo ejercicio. Cada línea dentro del gráfico representa una visita médica.

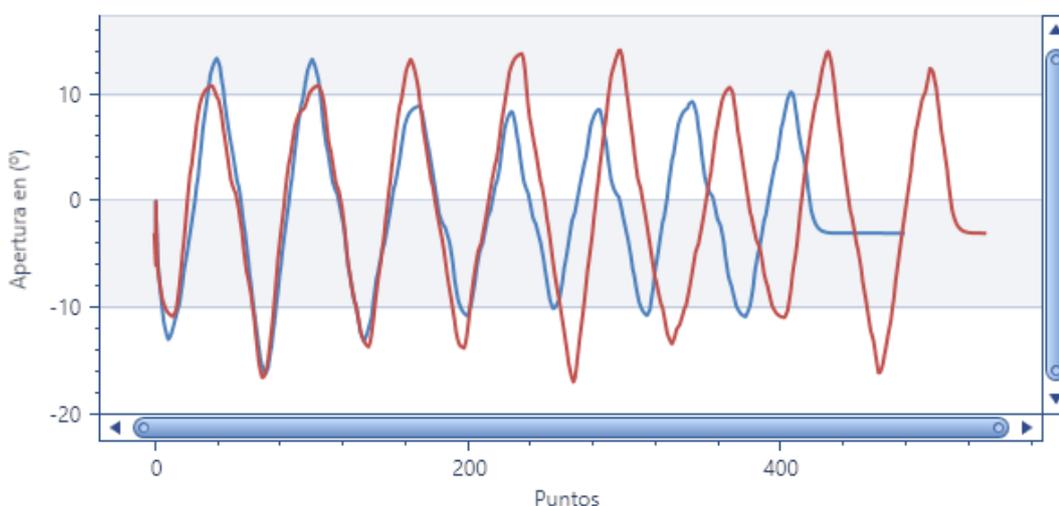


Figura 7.13 – Gráfico comparativo entre sesiones

Con los dos primeros gráficos podemos visualizar la evolución del paciente ya que entre mayor sea el valor del ángulo por visita nos indica una evolución satisfactoria del paciente. Con el último se puede realizar comparaciones entre sesiones de fisioterapia.

Como se mencionó en el Capítulo 1, este tipo de análisis no espera quitar la responsabilidad al médico sino ser una herramienta de apoyo al momento de elaborar el diagnóstico basándose en resultados cuantitativos.

Siguiendo con el análisis de nuestro paciente a continuación mostramos los resultados históricos luego de completar sus 25 terapias.

Los resultados obtenidos por el paciente son los siguientes:

Resultados generales para el movimiento de balanceo

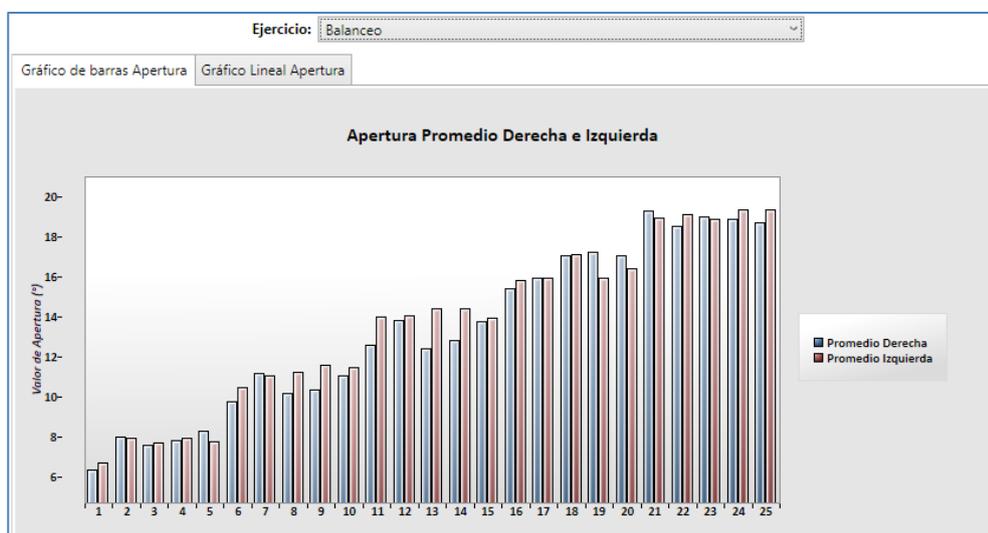


Figura 7.14 – Histórico – barras para el movimiento de balanceo.

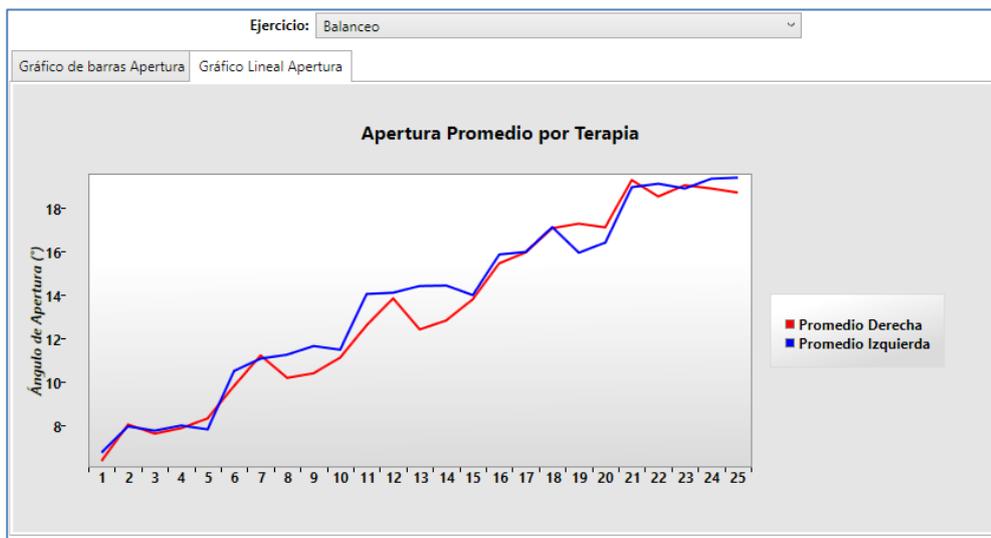


Figura 7.15 – Histórico – lineal para el movimiento de balanceo.

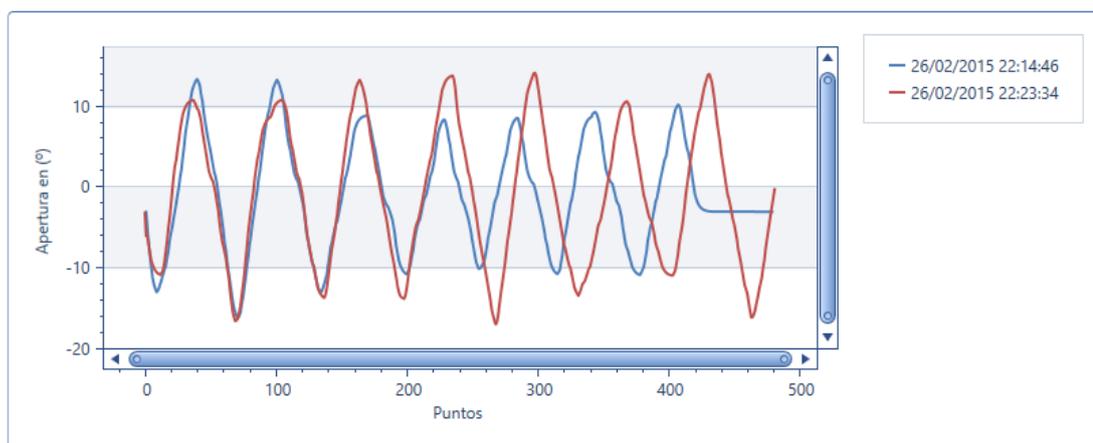


Figura 7.16 – Histórico – Comparativo para el movimiento de balanceo.

En las Figura 7.14 y 7.15, podemos observar que existe una mejoría en el paciente y que en la terapia 13 y 19 el paciente no presentó mejoría. En la Figura 7.16 vemos como los ángulos generados en la onda de color rojo son en algunas repeticiones mayores que la de color rojo.

Resultados generales para el movimiento de guiño

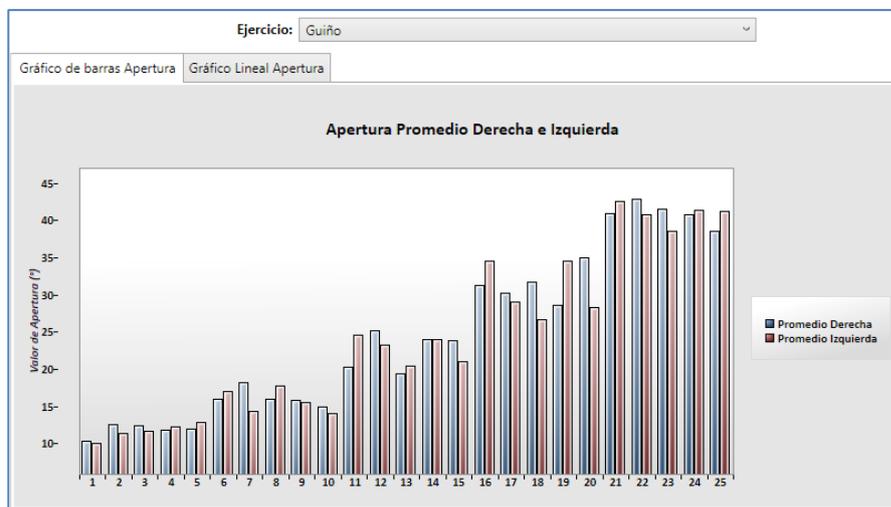


Figura 7.17 – Histórico – barras para el movimiento de guiño.

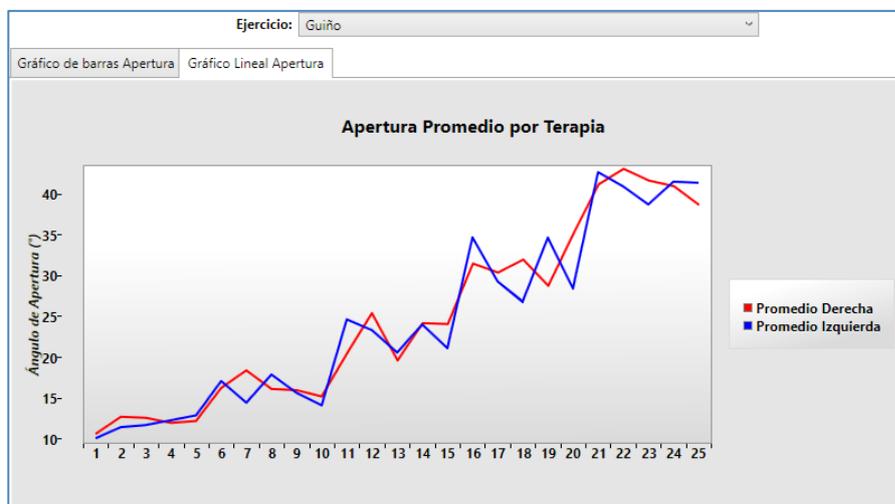


Figura 7.18 – Histórico - lineal para el movimiento de guiño.

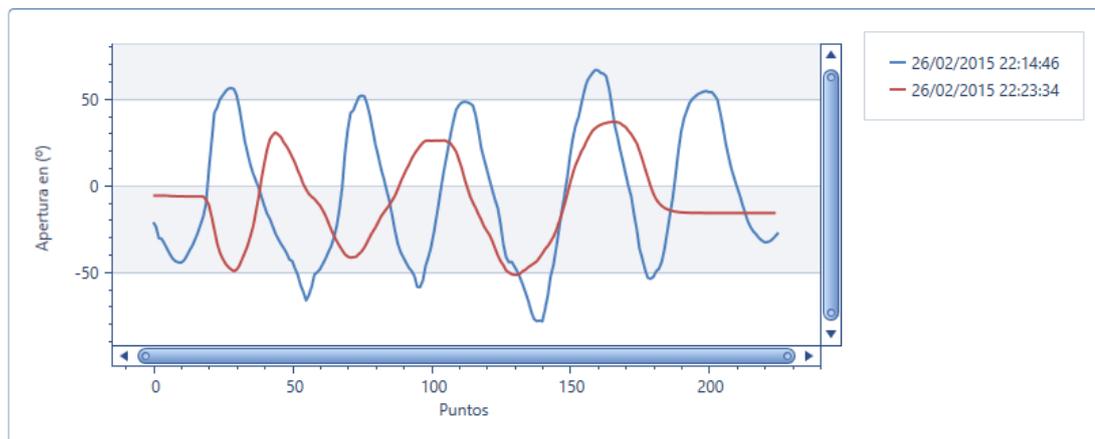


Figura 7.19 – Histórico – Comparativo para el movimiento de guiño.

En las Figura 7.17 y 7.18, podemos observar que existe una mejoría continua del paciente. En la Figura 7.19 vemos como los ángulos generados en la onda de color azul mucho más grandes en todas las repeticiones que la del color rojo.

Resultados generales para el movimiento de cabeceo

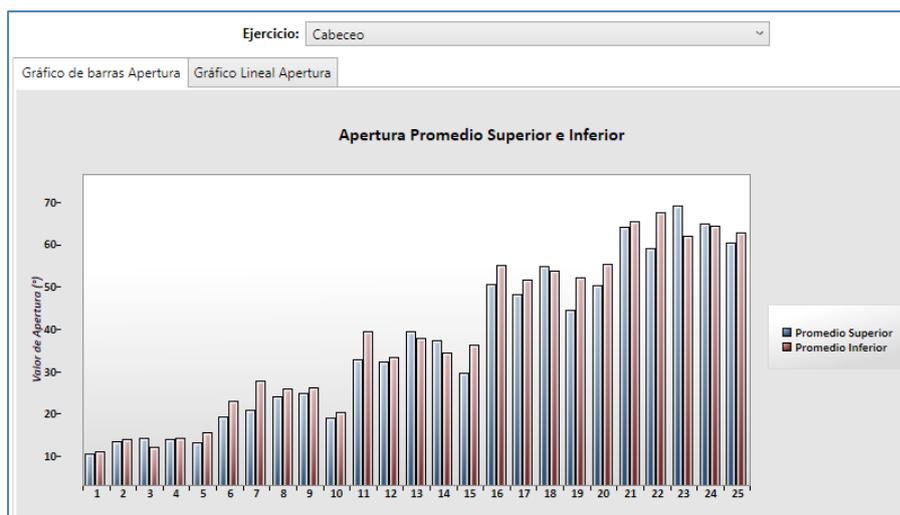


Figura 7.20 – Histórico – barras para el movimiento de cabeceo.

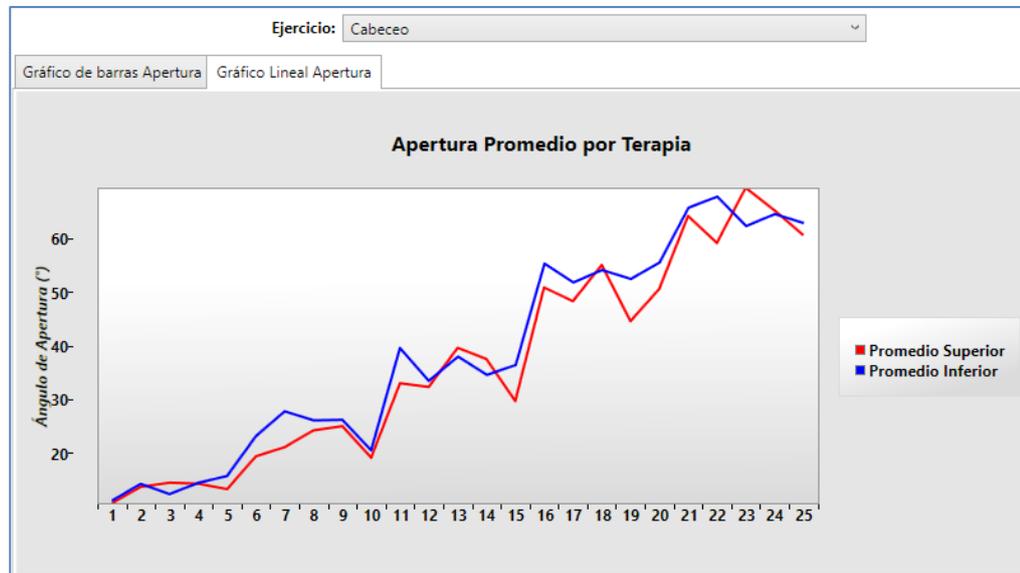


Figura 7.21 – Histórico – lineal para el movimiento de cabeceo.

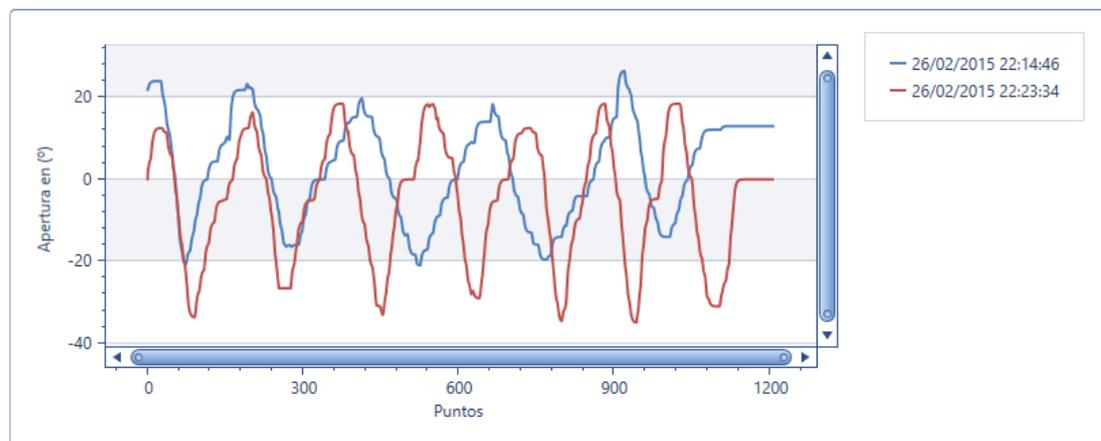


Figura 7.22 – Histórico – Comparativo para el movimiento de cabeceo.

En las Figura 7.20 y 7.21, podemos observar que el paciente durante sus terapias tuvo una mejoría satisfactoria. En la Figura 7.22 vemos

como los ángulos generados en la onda de color rojo son mucho más grandes solamente en la parte inferior. Esto quiere decir que sigue presentando problemas al subir la cabeza mas no al bajarla, ya que los ángulos de la parte superior no han mejorado y los de la inferior sí.

Resultados generales para el movimiento de levantamiento de hombros

Para este tipo de ejercicio se muestra un histórico por cada hombro, los dos primeros corresponden al hombro derecho y los dos restantes al hombro izquierdo.

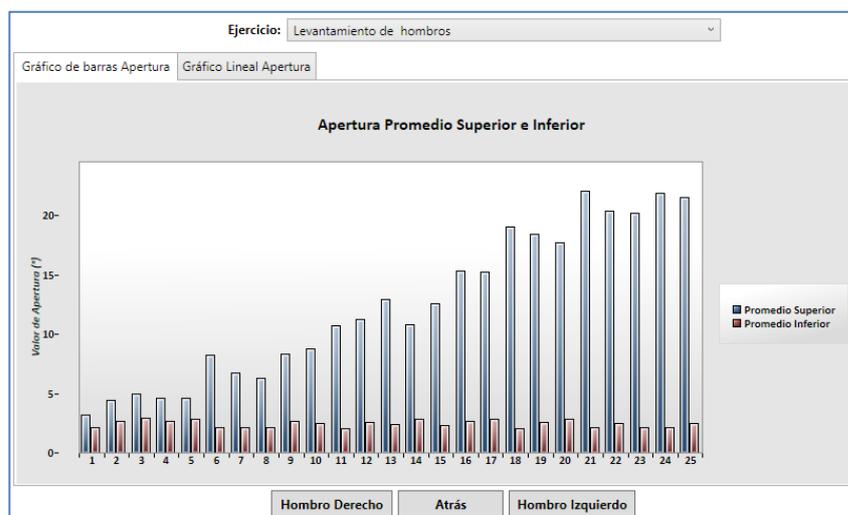


Figura 7.23 – Histórico - barras para el movimiento de levantamiento de hombro derecho.

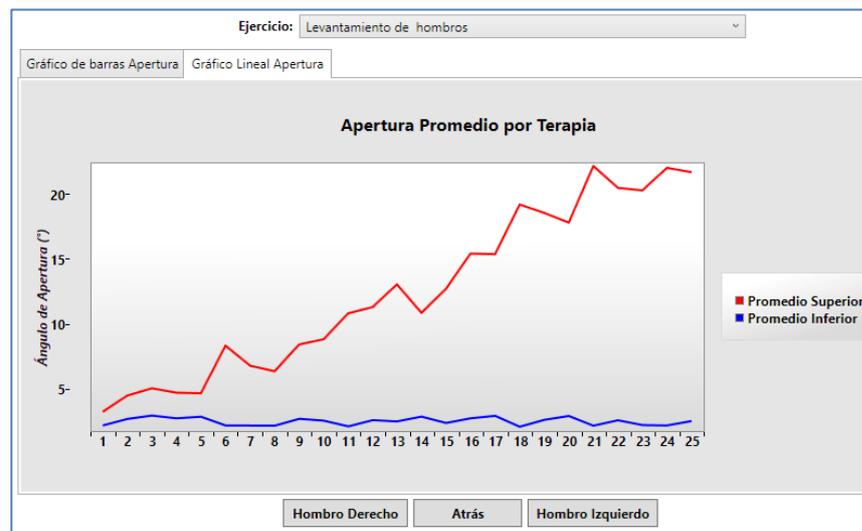


Figura 7.24 – Histórico – lineal para el movimiento de levantamiento de hombro derecho.

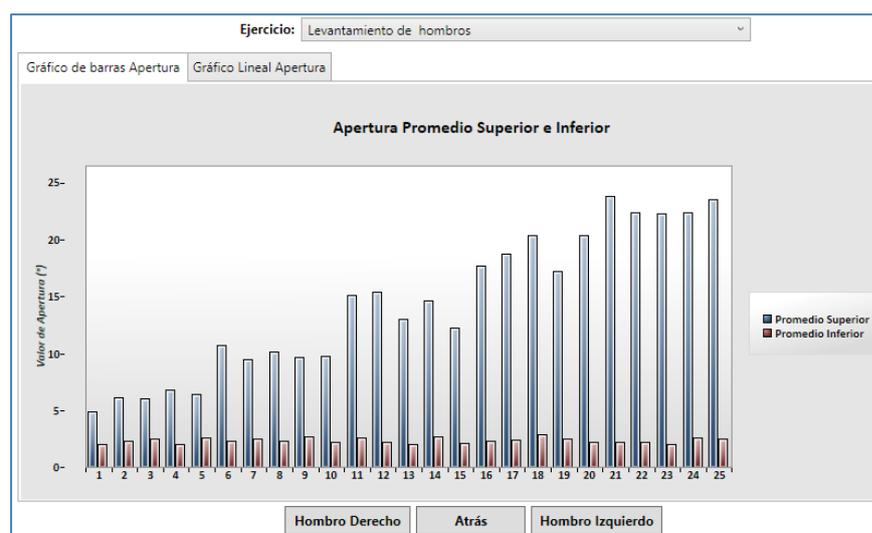


Figura 7.25 – Histórico – barras para el movimiento de levantamiento de hombro izquierdo.

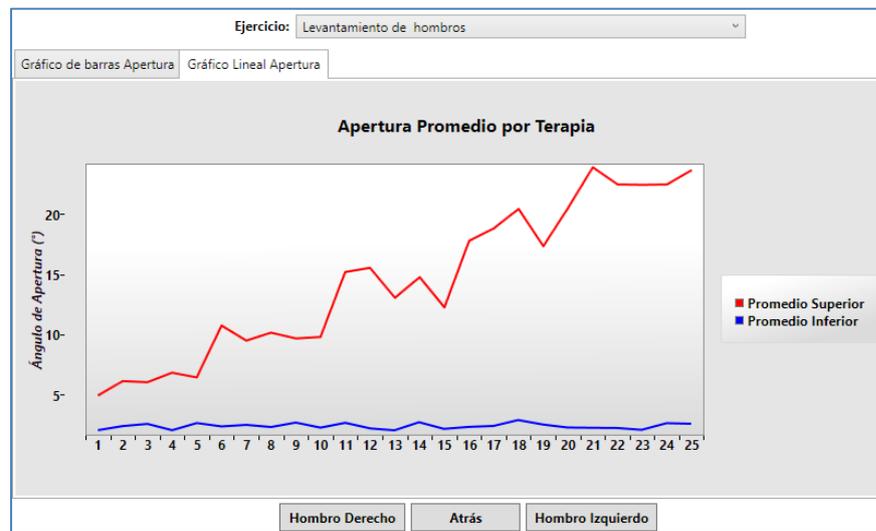


Figura 7.26 – Histórico - lineal para el movimiento de levantamiento de hombro izquierdo.

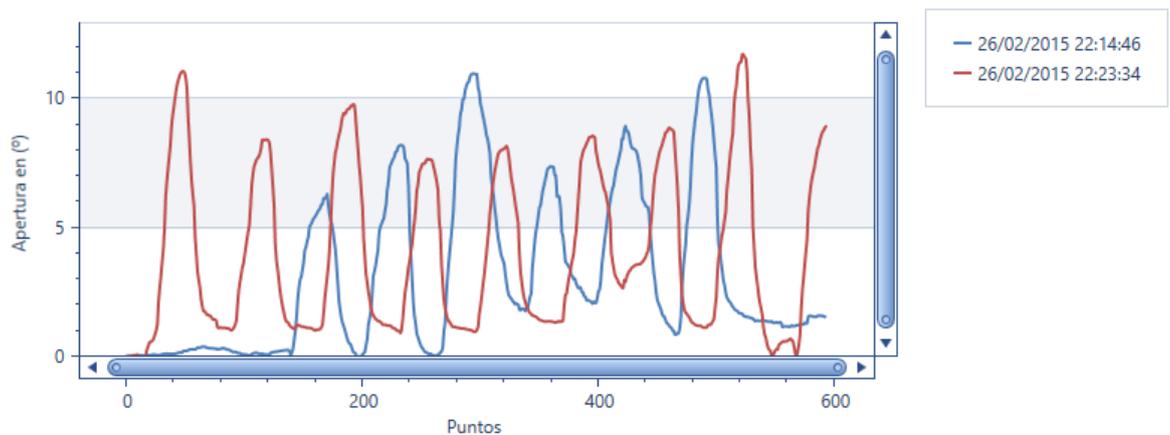


Figura 7.27 – Histórico – Comparativo para el movimiento de levantamiento de hombro.

En la Figura 7.27 podemos comparar las gráficas de dos visitas, esta grafica nos provee de información tal como el número de repeticiones, la velocidad con la que se realiza cada una de ellas y los angulos de apertura.

Podemos interpretar que el paciente mejora la movilidad del hombro hacia arriba ya que en su mayoría la gráfica de color rojo se superpone a la de color azul, además el número de repeticiones es mayor.

Resultados para el movimiento de remo

Para este tipo de ejercicio se muestra un historial por cada hombro, los dos primeros corresponden al hombro derecho y los dos restantes al hombro izquierdo.

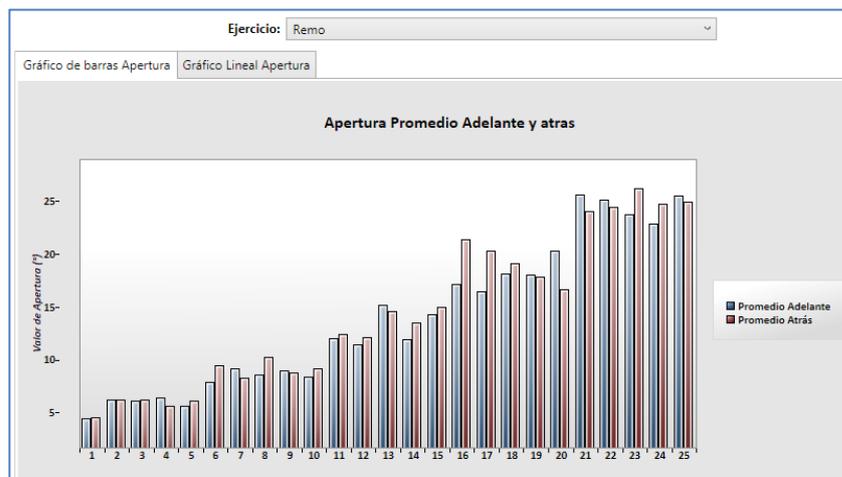


Figura 7.28 – Histórico - barras para el movimiento remo derecho.

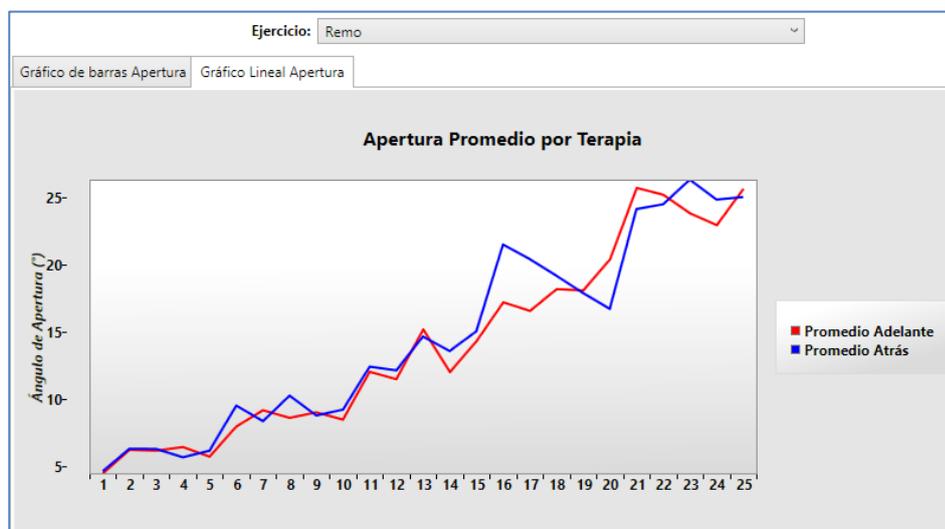


Figura 7.29 – Histórico – lineal para el movimiento remo derecho.

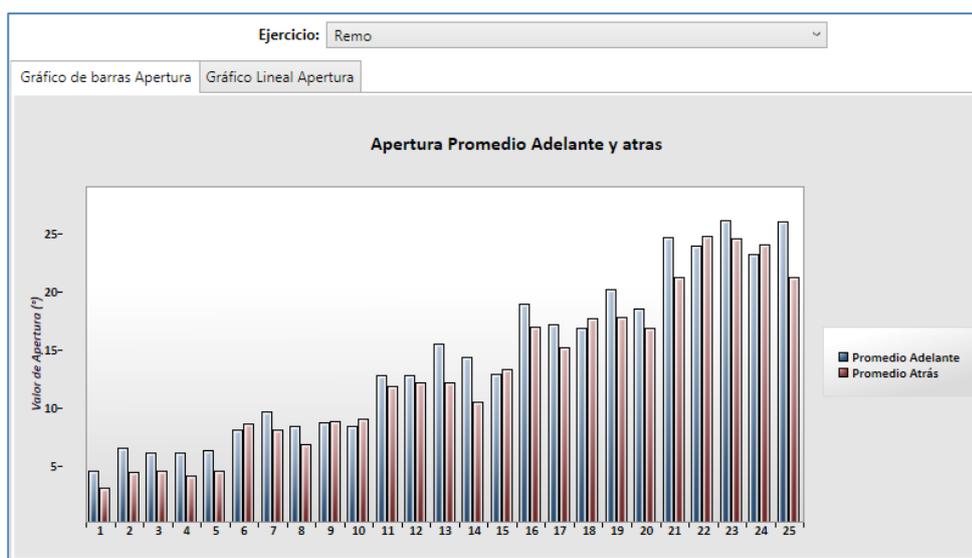


Figura 7.30 – Histórico – barras para el movimiento remo izquierdo.

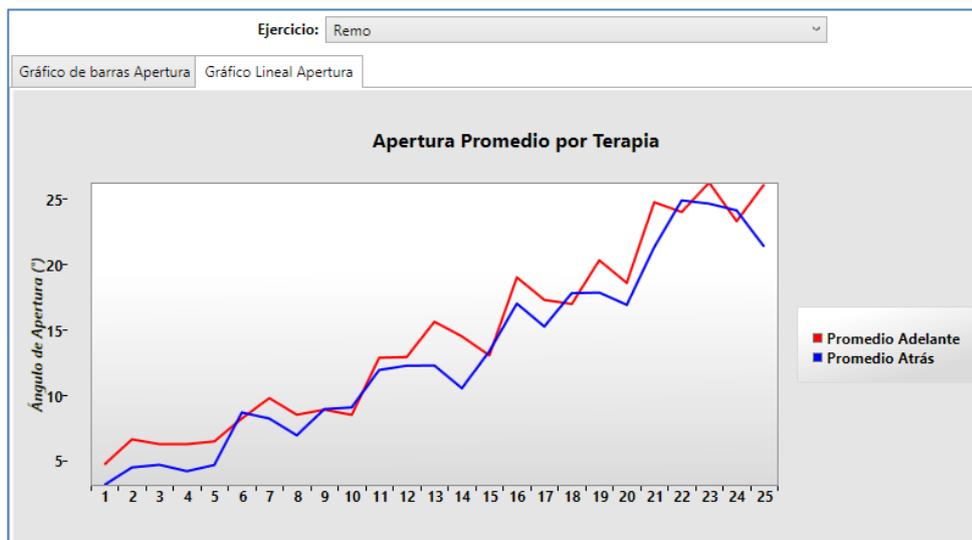


Figura 7.31 – Histórico – barras para el movimiento remo izquierdo.

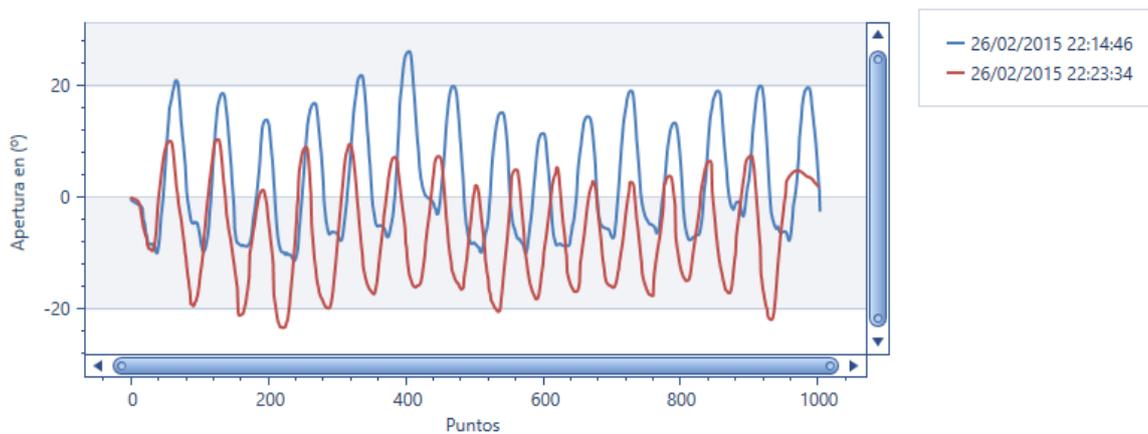


Figura 7.32 – Histórico – Comparativo para el movimiento remo de hombro.

En la figura 7.32 se comparan dos visitas, en el que el paciente presenta problemas al realizar el movimiento hacia adelante (parte positiva de la gráfica), en cambio presenta una notoria mejoría en el movimiento de los hombros hacia atrás.

Al finalizar todo el tratamiento podemos interpretar que el paciente tuvo una rehabilitación satisfactoria debido a que los valores de los ángulos alcanzados en cada terapia han ido en aumento lo que señala que en cada terapia su movilidad ha mejorado.

7.4. RESULTADOS EXPERIMENTALES

En los resultados experimentales vamos a observar los valores obtenidos de cuatro diferentes pacientes. Cada uno de ellos realizó las terapias y al finalizarlas se obtuvieron los resultados que se detallara a continuación.

Paciente #1

Balanceo		Cabeceo		Guiño		Lev. de hombros		Remo	
A. Máx.	A. Min.	A. Máx.	A. Min.	A. Máx.	A. Min.	A. Máx.	A. Min.	A. Máx.	A. Min.
6,32	6,7	10,49	11,02	10,42	10	3,19	2,17	4,4	4,58
8	7,91	13,57	14,18	12,53	11,37	4,44	2,67	6,17	6,26
7,58	7,71	14,34	12,27	12,4	11,63	5	2,93	6,11	6,24
7,83	7,95	14,15	14,36	11,78	12,22	4,66	2,72	6,38	5,62
8,28	7,77	13,14	15,65	12,02	12,82	4,62	2,84	5,66	6,11
9,78	10,46	19,26	23,08	16,06	17,02	8,28	2,17	7,9	9,47
11,18	11,03	20,97	27,71	18,22	14,37	6,74	2,16	9,12	8,31
10,15	11,21	24,11	26,03	15,94	17,82	6,31	2,15	8,55	10,21
10,36	11,61	24,89	26,13	15,79	15,57	8,37	2,68	8,96	8,73
11,08	11,44	19,01	20,45	15,02	14,05	8,77	2,54	8,42	9,17
12,57	14,01	32,89	39,51	20,24	24,58	10,77	2,1	11,98	12,37
13,81	14,07	32,2	33,4	25,23	23,26	11,25	2,58	11,43	12,09
12,38	14,38	39,5	37,92	19,44	20,52	12,97	2,48	15,13	14,61
12,79	14,4	37,4	34,51	24	23,96	10,8	2,85	11,96	13,53
13,76	13,96	29,57	36,35	23,9	21,05	12,65	2,36	14,27	15
15,42	15,83	50,67	55,12	31,33	34,54	15,34	2,72	17,11	21,41
15,92	15,95	48,1	51,6	30,23	29,14	15,29	2,91	16,47	20,33
17,04	17,09	54,86	53,91	31,82	26,7	19,11	2,07	18,09	19,09
17,25	15,91	44,39	52,25	28,61	34,51	18,46	2,6	18	17,8
17,08	16,38	50,4	55,35	34,98	28,28	17,72	2,9	20,31	16,62
19,26	18,93	64	65,54	41,03	42,54	22,07	2,15	25,63	24,05
18,5	19,09	58,97	67,61	42,95	40,79	20,39	2,57	25,11	24,41
19,02	18,87	69,26	62,12	41,51	38,58	20,2	2,2	23,73	26,24
18,87	19,32	65,05	64,36	40,82	41,37	21,93	2,17	22,85	24,76
18,68	19,37	60,42	62,67	38,52	41,24	21,59	2,51	25,56	24,95

Tabla 19 – Resultados paciente 1

Paciente #2

Balanceo		Cabeceo		Guiño		Lev. de hombros		Remo	
A. Máx.	A. Min.	A. Máx.	A. Min.	A. Máx.	A. Min.	A. Máx.	A. Min.	A. Máx.	A. Min.
6,37	6,47	10,26	11,12	10,41	11	3,22	2,42	4,8	3,2
7,42	7,81	15,59	14,53	13,15	13,27	4,95	2,28	6,35	5,07
7,67	8,4	16,02	12,6	12,75	12,89	4,79	2,72	6,11	4,52
7,83	7,63	14,79	16,56	12,52	13,58	4,97	2,38	6,58	4,73
7,77	7,53	13,76	16,2	11,51	12,29	4,65	2,31	6,1	4,36
10,9	11,37	19,86	27,05	15,43	17,93	6,96	2,54	8,43	7,18
10,56	10,34	25,29	22,7	16,15	15,43	7,98	2,77	8,73	8,42
11,11	10,08	23,76	20,9	15,14	17,12	6,39	2,92	10,6	9,06
11,15	10,9	18,42	25,57	15,44	16,63	7,57	2,21	10,52	7,97
10,63	11,09	25,36	23,97	14,92	17,34	8,1	2,58	10,52	6,4
13,48	12,78	39,44	35,52	23,05	20,03	13,49	2,56	15,41	11,01
12,44	13,51	40,08	39,05	23,62	24,81	10,91	2,8	13,92	12,91
14,34	14,43	33,17	37,58	21,53	23,7	11,28	2,43	11,93	10,34
13,39	14,45	29,29	40,22	21,31	21,16	13,74	2,92	11,85	11,66
12,49	14	32,95	39,78	23,43	25,57	12,67	2,27	14	12,35
16,51	17,22	42,46	46,04	32,72	29,85	15,97	2,61	18,73	18,97
15,84	17,26	53,21	54,24	27,47	34,98	16,68	2,1	19,55	17,98
15,72	15,91	52,93	50,38	30,22	27,53	16,32	2,56	19,07	19,32
16,7	16,25	53,51	51,24	35,06	31,69	17,69	2,89	21,17	17,89
17,31	16,2	53,93	53,23	29,46	31,1	19,16	2,61	17,7	17,66
18,91	18,97	65,36	64,81	41,88	43,34	20,6	2,44	26,05	24,76
18,89	18,94	66,96	57,87	38,68	39,04	21,19	2,11	24,83	23,33
18,49	19,39	60,79	63,71	39,49	41,94	21,1	2,21	25,7	24,91
18,53	19,1	62,56	68,44	37,5	42,4	21,99	2,32	22,93	23,41
19,23	19,3	59,51	66,44	38,04	42,41	21,89	2,13	22,99	23,32

Tabla 20 – Resultados paciente 2

Paciente #3

Balanceo		Cabeceo		Guiño		Lev. de hombros		Remo	
A. Máx.	A. Min.	A. Máx.	A. Min.	A. Máx.	A. Min.	A. Máx.	A. Min.	A. Máx.	A. Min.
6,7	6,37	10,21	10,89	10,66	11	4,98	2,83	4,14	3,03
8,78	7,9	12,88	14,43	11,77	13,7	5,99	2,69	5,46	4,54
8,83	8,81	13,73	13,49	11,77	14,66	6,27	2,13	5,92	4,51
8,08	9,28	13,99	12,36	13,42	14,35	6,08	2,06	5,41	4,89
8,25	8,2	11,88	12,71	14,39	13,58	6,25	2,06	5,89	4,92
10,92	10,44	21,51	18,23	16,3	17,9	10,25	2,64	7,44	6,54
11,35	10,79	22,1	21,56	16,74	18,59	8,81	2,26	9,24	7,3
11,94	11,06	15,31	19,15	18,44	17,54	9,41	2,02	7,67	8,57
11,48	11,75	19,77	21	18,59	19,6	9,87	2,85	7,63	6,63
12,27	12,28	17,9	16,22	16,7	17,65	9,06	2,81	8,91	7,1
14,15	15,16	27,74	28,59	22,09	24,22	13,92	2,33	14,88	10,7
14,55	14	25,58	30,18	21,62	21,32	13,71	2,74	14,88	10,4
13,85	15,26	24,59	30,26	24,24	22,75	13,23	2,13	14,74	11,56
15,47	15,16	30,1	25,37	21,38	24,25	15,06	2,45	13,21	13,21
15,25	15,05	29,28	28,52	23,89	21,91	12,84	2,57	14,06	12,78
18,41	16,98	41,97	43,59	33,77	34,96	18,64	2,82	16,6	17,33
18,22	16,47	40,9	43,08	27,79	29,37	18,52	2,06	16,22	16,76
17,79	17,74	35,84	43,6	34,51	31,77	18,14	2,58	16,18	17,99
18,08	16,62	35,91	42,7	27,99	26,94	17,89	2,98	21,1	19,68
18,13	18,27	35,76	44,03	26,72	29,76	19,07	2,71	19,83	19,4
20,2	19,51	55,61	48,4	40,95	42,57	23,53	2,79	23,52	24,25
20,21	19,54	47,17	48,02	35,76	41,65	23,01	2,42	24,93	24,46
20,14	19,47	50,58	53,91	40,54	42,33	22,76	2,53	24,67	24,84
19,86	19,59	51,51	56,8	41,11	41,04	22,95	2,22	25,23	23
19,77	20,01	53,36	48,09	36,92	40,25	22,94	2,07	23,11	23,48

Tabla 21 – Resultados paciente 3

Paciente #4

Balanceo		Cabeceo		Guiño		Lev. de hombros		Remo	
A. Máx.	A. Min.	A. Máx.	A. Min.	A. Máx.	A. Min.	A. Máx.	A. Min.	A. Máx.	A. Min.
6,15	6,51	10,97	10,44	10,84	11	3,83	2,6	4,24	4,88
8,11	9,31	12,56	14,28	12,56	12,74	5,19	2,8	5,98	6,21
8,28	8,82	14,67	12,37	13,96	12,36	5,43	2,14	5,86	6,63
7,35	7,86	12,46	12,2	11,91	12,44	5,37	2,11	6,16	6,1
7,19	7,99	14,75	12,67	13,25	12,23	4,93	2,01	5,77	6,18
11,78	10,85	23,87	21,68	18,99	19,42	7,15	2,11	7,38	10,2
11,78	10,79	21,35	22,98	16,81	18,24	7,37	2,6	7,88	8,51
11,88	12,39	19,86	20,35	18,28	19,91	7,09	2,1	7,42	8,37
11,74	10,69	22,41	18,07	17,4	18,16	8,91	2,29	9,49	8,1
12,04	12,47	22,6	15,6	16,61	19,2	6,97	2,45	8,85	8,13
13,74	13,52	31,51	27,96	20,85	23,53	12,57	2,37	11,65	12,98
14,43	13,97	26,41	25,98	24,01	25,77	11,22	2,19	15,12	12,81
14,75	13,87	30,69	29,08	23,35	22,77	12,06	2,08	13,74	12,1
13,98	15,19	27,49	28,39	21,6	25,84	13,22	2,2	11,39	12,7
14,84	15,43	30,51	29,12	24,95	25,09	12,42	2,15	13,86	14,28
16,96	16,7	34,94	36,63	29,57	32,14	19,1	2,67	18,02	19,11
16,47	18,39	34,91	39,69	28,86	27,35	18,15	2,18	20,85	18,48
16,39	17,03	39,48	33,57	32,52	30,11	18,04	2,72	19,85	19,24
16,32	17,72	40,7	34,4	32,52	31,25	19,58	2,44	19,18	20,99
16,68	18,23	34,08	38,92	31,37	31,13	18,92	2,5	19,89	20,11
19,16	19,61	48,34	52,85	38,5	39,78	21,35	2,33	24,91	25,47
19,46	20,33	54,28	47,15	34,5	36,59	22,03	2,7	26,13	22,89
19,26	19,75	51,78	47,21	37,06	35,2	21,15	2,18	23,79	23,81
19,46	20,44	55,2	44,81	38,42	38,07	22,24	2,65	23,22	26,31
19,47	19,75	47,74	44,66	40,42	39,31	21,6	2,28	24,55	25,06

Tabla 22 – Resultado paciente 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir del trabajo realizado y de los resultados obtenidos, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- 1) Es posible realizar el seguimiento de los movimientos de la cabeza e interpretarlos como valores cuantitativos que le brinden un valor agregado al diagnóstico del médico.
- 2) Es posible llevar un seguimiento del proceso de rehabilitación de un paciente mediante el uso de las gráficas de resultados parciales y generales las cuales nos permiten realizar comparaciones de los valores obtenidos en múltiples terapias.
- 3) A partir de los valores de tiempo, ángulo y velocidad obtenidos estadísticamente es posible cuantificar el progreso del paciente y emitir un diagnóstico con mayor exactitud basado en datos cuantitativos.
- 4) Se evidenció que el sistema con todas sus opciones administrativas, permite organizar la información obtenida en

cada una de las terapias, procesarla y brinda un apoyo cuantitativo al diagnóstico del médico.

- 5) El hardware y software utilizado en el proyecto se presta para poder ser utilizado fácilmente de forma remota. Esto permite realizar terapias desde cualquier lugar y almacenar los resultados para posteriormente ser enviado a un médico sin importar cual fuera su ubicación geográfica.
- 6) Como se puede observar en las tablas 19, 20, 21 y 22 los resultados de los ángulos obtenidos en cada una de las terapias van en aumento, lo que indica que los pacientes están recuperando su movilidad. Este diagnóstico ha sido inferido basado en los datos cuantitativos proporcionados por la herramienta desarrollada.
- 7) El kit de desarrollo de Kinect para Windows aún está en evolución y por ende los métodos que provee para hacer el seguimiento de los movimientos tienen algunas limitaciones, por lo que hay ciertos valores fronteras sobre los que opera nuestro proyecto.
- 8) El proyecto desarrollado funciona sobre cualquier fondo en la escena excepto sobre fondos que contengan pliegues como cortinas o persianas ya que el dispositivo confunde las partes del cuerpo con estos elementos.

- 9)** En todo proyecto que involucre procesamiento de imágenes como fase inicial se debe especificar las condiciones de la escena ya que si elegimos una correcta iluminación y condiciones adecuadas, ahorraremos procesamiento el cual computacionalmente podría ser muy costoso.
- 10)** La mayoría de los sistemas que involucran hardware y software incluyen un módulo de calibración el cual es de vital importancia ya que muchas veces de este depende la exactitud y fiabilidad de los datos.
- 11)** Existen muchas áreas de acción como la medicina en donde las técnicas de visión por computador pueden ser de mucha ayuda en diagnóstico de enfermedades como traumatismos severos.
- 12)** Las técnicas utilizadas de visión por computador aplicadas en este proyecto fueron de mucha ayuda para apoyar el diagnóstico de pacientes que sufren de traumatismo cervical, ya que este nos permite cuantificar los resultados obtenidos de cada una de las terapias, estos resultados pueden ser presentados en valores numéricos.
- 13)** Las aplicaciones que realizan procesamiento de señales de video en tiempo real computacionalmente son muy costosas ya que requieren de muchos recursos tanto de hardware como de software.

Este proyecto sirve como base para abrir futuros trabajos de investigación tanto en la ESPOL como en otros centros de investigación. A continuación se listan algunas recomendaciones para alguien que desee tomar como base el trabajo aquí realizado.

- 1)** Aunque se comprobó que es una buena metodología el hecho de escoger la nariz como punto de interés para algunos de los ejercicios que aquí se detallan, ese método tiene algunas limitaciones como el ángulo de apertura ya que en algunos casos la nariz desaparece de nuestra escena, se recomienda continuar profundizando en este tema mejorando el algoritmo de detección de la nariz.
- 2)** Para efectos de tener una señal de video apta para el procesamiento con este sistema, se deben seguir las recomendaciones de iluminación para la captura del video, y evitar entre otras cosas la iluminación no uniforme del fondo, así como el reflejo del color de fondo en el objeto del frente.
- 3)** Como mencionamos anteriormente se recomienda tener un fondo uniforme sin pliegue y cortinas para que no exista ruido en la captura de la señal de video.

- 4) Si bien es cierto nuestro modelo de calibración es válido para este proyecto se recomienda continuar profundizando en técnicas de calibración del Kinect.
- 5) La persona u objeto que se encuentre entre el sensor y el fondo debe evitar usar el color blanco, ya que este refleja la luz y puede ocasionar que el sensor no realice un reconocimiento eficiente de las partes del cuerpo.
- 6) Los costos de computacionales de este tipo de sistemas son muy altos por lo que se recomienda tener una buena cantidad de recursos tanto al nivel de hardware y software para el correcto funcionamiento del sistema.
- 7) Aumentar la cantidad de *frames* capturados por segundo, con el fin de obtener mayor cantidad de información de la escena 3D y obtener una mayor precisión en los resultados.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Arturo Mahiques, Clínica de Traumatología y Ortopedia Arturo Mahiques, España, Rehabilitación De La Columna Cervical, <http://cto-am.com/rhbcerv.htm>, Recuperado el 10 de Febrero del 2013
- [2]. Alejandro Murillo, <http://www.kinectfordevelopers.com/tag/sdk-1-0/> "Skeleton Tracking – MapSkeletonPointToDepth Deprecated", Recuperado el 12 de febrero del 2013.
- [3]. Bono G, Antonaci F, Ghirmain S, D'Angelo F, Berger M, Nappi G, 2000, Whiplash injuries: clinical picture and diagnostic work-up, Clinical and Experimental Rheumatology, fasciculo 2, volumen 18, suplemento 19, paginas S23 - S28.
- [4]. David Catuhe, 2012, Programming with the Kinect for Windows Software Development Kit. ISBN-13 (electronic): 978-0-7356-6681-8, Microsoft Press.
- [5]. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, *"Iluminación del puesto de Trabajo. Criterios para su evaluación y acondicionamiento"*, <http://www.insht.es/Ergonomia2/Contenidos/Promocionales/Iluminacion/ficheros/IluminacionPuestosTrabajoN.pdf>, Recuperado el 2 de Febrero del 2013.

[6]. Jarrett Webb & James Ashley, 2012, beginning Kinect Programming with the Microsoft Kinect SDK.ISBN-13 (electronic): 978-1-4302-4101-8, Apress.

[7]. Kapandji AI, 1998, Fisiología articular, 5ª edición Tomo 3, España: Editorial Médica Panamericana.

[8]. Luan F, Yang KH, Deng B, Begeman PC, Tashman S, King AI, 2000, Qualitative analysis of neck kinematics during low-speed rear-end impact, Clini Biomech (Bristol, Avon).

[9]. Microsoft, "Kinect for Xbox 360", <http://www.xbox.com/es-ES/kinect>, Recuperado el 7 de febrero del 2013.

[10]. Microsoft, "Kinect for Windows Features", <http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/discover/features.aspx>, Recuperado el 7 de febrero del 2013.

[11]. Microsoft, "Solucionar problemas de seguimiento del cuerpo", <http://support.xbox.com/es-ES/xbox-360/kinect/body-tracking-troubleshoot>, Recuperado el 10 de febrero Del 2013.

[12]. Microsoft, "Sensor Setup and Support", <http://www.microsoft.com/en->

us/kinectforwindows/purchase/sensor_setup.aspx, Recuperado el 10 de febrero Del 2013.

[13]. Miguel Ángel de Frutos Carro, "Kinect está de Moda", 2011, <http://aerobotclubderobticadeaeronuticos.blogspot.com/2011/06/kinect-esta-de-moda.html>, Recuperado el 24 de febrero del 2013.

[14]. Moore EE, Mattox KL, Feliciano DV, 2000, Penetrating and blunt neck trauma, 4ª edición, New York: McGraw-Hill, p 443.

[15]. MSDN, " Tracking Users with Kinect Skeletal Tracking", http://msdn.microsoft.com/en-us/library/jj131025.aspx#PlayerID_in_depth_map/, Recuperado el 24 de febrero del 2013.

[16]. MSDN, "Face Tracking", <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/jj130970.aspx/>, Recuperado el 24 de febrero del 2013.

[17]. Ricard Serra Grima, Caritat Bagur Calafat, 2004, Prescripción de ejercicio físico para la salud, Barcelona: Editorial Paidotribo, Primera Edición, pag: 250-251.

[18]. Rovasi, 2011, "Medidas de Iluminación Básicas", [http://www.rovasi.es/sites/default/files/support/Basics20 of 20lighting 20measurements20es_0.pdf](http://www.rovasi.es/sites/default/files/support/Basics20%20of%20lighting%20measurements20es_0.pdf), Recuperado el 2 de Febrero del 2013.

[19]. Sistema Sanitario español de Medicina Interna, Columna Cervical I Ejercicios de rehabilitación, <http://www.tumedicoaltelefono.es/columna-cervical-ejercicios-de-rehabilitacion/>, Recuperado el 10 de febrero del 2013.

[20]. MSDN, "Introducción a WPF", <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/aa970268.aspx>, Recuperado el 23 de febrero del 2014.

[21]. Windows Presentation Foundation, <http://santimacnet.wordpress.com/category/windows-presentation-wpf/>, Recuperado el 23 de febrero del 2014.

[22]. Tutorial de WPF, <http://www.wpftutorial.net/WPFIntroduction.html>, Recuperado el 23 de febrero del 2014.

[23]. Qué es MySQL? (2005). Esepe Studio, <http://www.esepestudio.com/noticias/que-es-mysql>, Recuperado el 23 de febrero del 2014.

[24]. MySQL, "Principales características de MySQL", <https://dev.mysql.com/doc/refman/5.0/es/features.html>, Recuperado el 23 de febrero del 2014.

[25]. MSDN (2012), "Entity Framework Overview", <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/bb399567.aspx>, Recuperado el 23 de febrero del 2014.

[26]. <http://www.engadget.com/2010/08/07/microsoft-pulls-apart-a-kinect-camera-tickles-your-non-gaming-f/> extraído el 14 de Marzo del 2014.

[27]. <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/jj131025.aspx> extraído el 14 de Marzo del 2014.

[28]. <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/jj130970.aspx/> extraído el 14 de Marzo del 2014.

[29]. <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/jj130970.aspx/> extraído el 14 de Marzo del 2014.

[30]. <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/jj130970.aspx/> extraído el 14 de Marzo del 2014.

[31]. <http://www.wpftutorial.net/WPFIntroduction.html> extraído el 14 de Marzo del 2014.

[32]. <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/bb399567.aspx> extraído el 13 de Marzo del 2014.