# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA

# CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Electrónico

### **PROYECTO TECNICO:**

"RECONOCIMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS MOVIMIENTOS DE LA MANO EN PACIENTES QUE PADECEN DE LA ENFERMEDAD DE PARKINSON (EP) MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL"

#### **Autor:**

Williams Lenin Saraguro González

#### **Tutor:**

Ing. Dra. Mónica Karel Huerta (PhD)

CUENCA – ECUADOR 2018

## CESION DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Williams Lenin Saraguro González con documento de identidad N° 0706723657, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación: "RECONOCIMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS MOVIMIENTOS DE LA MANO EN PACIENTES QUE PADECEN DE LA ENFERMEDAD DE PARKINSON (EP) MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL", mismo que he desarrollado previo a la obtención del título de: *Ingeniero Electrónico*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

Cuenca, diciembre del 2018

Williams Lenin Saraguro González

CI: 0706723657

# **CERTIFICACIÓN**

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: "RECONOCIMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS MOVIMIENTOS DE LA MANO EN PACIENTES QUE PADECEN DE LA ENFERMEDAD DE PARKINSON (EP) MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL", realizado por Williams Lenin Saraguro González, obteniendo el *Proyecto Técnico* que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, diciembre del 2018

Ing. Dra. Mónica Karel Huerta.

CI: 0151450426

## DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Williams Lenin Saraguro González con cédula de identidad No. 0706723657, autor del trabajo de titulación: "RECONOCIMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS MOVIMIENTOS DE LA MANO EN PACIENTES QUE PADECEN DE LA ENFERMEDAD DE PARKINSON (EP) MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL", certifico que el contenido total del *Proyecto Técnico* es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, Diciembre del 2018

Williams Lenin Saraguro González

CI: 0706723657

#### **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco primeramente a Dios, por ser el guía de mis pasos, el que florece mí camino y llena de toda virtud y sabiduría mi existencia, gracias a él puedo cumplir una meta más en mi vida dejando de lado todo obstáculo y dureza que presenta este mundo.

A mis padres, Williams Alberto Saraguro Calle y Hermandina del Carmen González Pineda por su apoyo incondicional y grandes consejos que hacen de mi día a día una persona de bien.

A mi querida esposa Josselyn Calle, por su amor, comprensión y apoyo que me ha brindado a lo largo de nuestra relación.

A mis hermanas Alexandra, Lady y Johanna, quienes me han dado su comprensión, cariño y han sido participe a lo largo de toda mi vida.

A mis amigos, por compartir conmigo todos estos años, dándome ánimo, fuerza y por su sincera amistad.

Y a mí tutora, Dra. Mónica Karel Huerta por su paciencia y colaboración a lo largo del desarrollo de este proyecto.

Williams Lenin Saraguro González

### **DEDICATORIAS**

A Dios por haber sido mi guía y mi fortaleza a lo largo del desarrollo del proyecto. A mis queridos padres ya que han sido el pilar fundamental en mi desarrollo académico y personal enseñándome desde pequeño diferenciar las malas y buenas acciones. A mi amada esposa y a mi hermosa hija quienes son hoy en día la fuerza que mi impulsa a seguir adelante y así derrotar cualquier adversidad que se presente.

Williams Lenin Saraguro González

# **INDICE GENERAL**

AGRAD	ECIN	MIENTOS	V
DEDICA	TOR	IAS	VI
INDICE	GEN	ERAL	VII
INDICE	DE F	FIGURAS	IX
INDICE	DE T	TABLAS	XI
RESUMI	EN		XII
INTROD	UCC	CIÓN	XIII
ANTECI	EDE	NTES	XV
JUSTIFI	CAC	IÓN	XVII
OBJETIV	VOS		XVIII
OBJE	TIV	O GENERAL	XVIII
OBJE	TIV	OS ESPECÍFICOS	XVIII
CAPITU	LO 1	: Fundamentos Teóricos	1
1.1	La	Enfermedad de Parkinson	1
1.1.	1	Síntomas	2
1.1.	2	Fases de la Enfermedad de Parkinson	6
1.2	Esc	ala para evaluar la Enfermedad de Parkinson	6
1.3	Sele	ección de actividades de las manos	8
1.3.	1	Golpeteo de los dedos de las manos	8
1.3.	2	Movimientos alternantes con las manos	8
1.4	Inci	dencia de la enfermedad de Parkinson en el Ecuador	9
1.5 person		ado del arte de las tecnologías que analizan los movimientos de la n ue padecen de la EP	
1.6 de las		ección de una tecnología que se adapte al análisis del movimiento do onas que sufran de la EP	
1.7	Visi	ón Artificial	14
1.7.	1	Hardware del Kinect	14
1.7.	2	Software del Kinect	19
CAPITU	LO 2	: Metodología	21
2.1	Inst	alación	21
2.1	1	Instalación del sensor Kinect v2 0	21

2.1.2	2 Instalación del software Processing	23
2.2	Calibración	24
2.2.1	Condiciones del ambiente de trabajo	24
2.2.2	2 Altura del sensor Kinect	25
2.2.3	B Distancia entre el sensor Kinect - paciente	26
2.2.4	Posición del Paciente	26
2.3	Interfaz gráfica del sistema	27
2.3.1	Características y Algoritmos	27
2.3.2	2 Base de datos y Lenguaje de desarrollo	31
2.3.3	Plataforma de navegación del sistema	35
2.4	Especificación de los parámetros a medir con el Kinect	39
2.4.1	Movimientos alternantes de las manos	39
2.4.2	2 Golpeteo de los dedos	40
2.4.3	Función de seguimiento de la mano	41
2.5	Datos de los pacientes	43
CAPITUI	LO 3: Resultados	44
3.1	Resultados de los Movimientos alternantes de las manos	51
3.2	Resultados del Golpeteo de los dedos	54
CAPITUI	LO 4: Conclusiones y Recomendaciones	58
4.1	Conclusiones	58
4.2	Recomendaciones	58
Referenci	ia Bibliográfica	60
APENDI	CE	67

# **INDICE DE FIGURAS**

Figura 1: Concentración de dopamina	2
Figura 2: Golpeteo de los dedos en ambas manos	8
Figura 3: Movimientos alternantes de las manos	9
Figura 4: Sistema de monitoreo de los temblores en pacientes con EP	12
Figura 5: Herramienta para evaluar el temblor Parkinsoniano de las manos	12
Figura 6: Sistema de evaluación automática con el sensor de profundidad 3D	13
Figura 7: Aplicación móvil para el diagnóstico precoz del golpeteo de los dedos	13
Figura 8: Sistema analizador del temblor de las manos con acelerometría	14
Figura 9: Kinect v2.0.	15
Figura 10: Componentes del Kinect v2.0	16
Figura 11: Adaptador Kinect para Windows	16
Figura 12: Consideraciones físicas del sensor	17
Figura 13: Angulo de visión	17
Figura 14: Reconocimiento del esqueleto	18
Figura 15: Modelo del esqueleto completo	18
Figura 16: Modelo del esqueleto sentado	19
Figura 17: Pasos para instalar correctamente el sensor Kinect	22
Figura 18: Conexión correcta e incorrecta del sistema	23
Figura 19: Ventana de inicio del software Processing	23
Figura 20: Iluminación correcta del sensor Kinect	24
Figura 21: Iluminación incorrecta del sensor Kinect	25
Figura 22: Altura del sensor Kinect con ayuda de un trípode	26
Figura 23: Distancia entre el paciente y el sensor Kinect	27
Figura 24: Posición del paciente al realizar las pruebas	27
Figura 25: Algoritmo de ingreso al sistema	28
Figura 26: Proceso de registro del Doctor	29
Figura 27: Proceso de registro del Paciente	30
Figura 28: Proceso de búsqueda de los Pacientes	31
Figura 29: Ventana principal del servidor XAMPP	32
Figura 30: Creación de la tabla "médico"	32
Figura 31: Creación de la tabla "paciente"	33
Figura 32: Creación de la tabla "pruebas".	33
Figura 33: Base de datos de la mano derecha e izquierda	34
Figura 34: Rase de datos de los dedos mano derecha abiertos - cerrados	34

Figura 35: Base de datos de los dedos mano izquierda abiertos – cerrados	35
Figura 36: Pagina de inicio del sistema	36
Figura 37: Registro del doctor	36
Figura 38: Manual de las actividades	37
Figura 39: Menú principal	37
Figura 40: Registro de un paciente	38
Figura 41: Ingreso de actividad	38
Figura 42: Búsqueda de los pacientes	39
Figura 43: Reconocimiento del estado de la mano mediante la librería KinectPv2	40
Figura 44: Reconocimiento del color	41
Figura 45: Colocación apropiada del dedal en el dedo índice	41
Figura 46: Joints referenciales del esqueleto mediante la librería KinectPv2 observado en el s	sensor
Kinect	42
Figura 47: Marcas referenciales de los Joints facilitados con la librería KinectPv2	43
Figura 48: Gráfica de la velocidad promedio del paciente 1, mano derecha	44
Figura 49: Gráfica de la velocidad promedio del paciente 1, mano izquierda	45
Figura 50: Gráfica de la velocidad promedio del paciente 2, golpeteo de los dedos mano izqu	ierda.
	45
Figura 51: Gráfica de la velocidad promedio del paciente 2, golpeteo de los dedos mano de	recha
	46
Figura 52: Gráfica de la velocidad promedio del paciente 3, mano derecha	46
Figura 53: Gráfica de la velocidad promedio del paciente 3, mano izquierda	47
Figura 54: Datos obtenidos del paciente 4 en la sesión 5	47
Figura 55: Gráfica de la velocidad promedio de las sesiones realizadas del paciente 4,	
derecha	48
Figura 56: Gráfica de la velocidad promedio del paciente 4, golpeteo de los dedos mano izqu	ıierda
	48
Figura 57: Gráfica de la velocidad promedio del paciente 5, mano derecha	49
Figura 58: Gráfica de la velocidad promedio del paciente 5, mano izquierda	49
Figura 59: Gráfica de la velocidad promedio del paciente 6, golpeteo de los dedos mano de	erecha
	50
Figura 60: Gráfica de la velocidad promedio del paciente 6, golpeteo de los dedos mano izqu	ıierda
	50

# INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Items evaluados en los 4 dominios de la escala UPDRS
Tabla 2: Datos estadisticos en el Ecuador relacionados a la EP en el año 2014 10
Tabla 3: Datos estadisticos en el Ecuador relacionados a la EP en el año 2015 10
Tabla 4: Datos estadisticos en el Ecuador relacionados a la EP en el año 2016
Tabla 5: Datos de los pacientes evaluados
Tabla 6: Valoración de los Movimientos Alternantes de las manos del paciente 1
Tabla 7: Valoración de los Movimientos Alternantes de las manos del paciente 2
Tabla 8: Valoración de los Movimientos Alternantes de las manos del paciente 3 52
Tabla 9: Valoración de los Movimientos Alternantes de las manos del paciente 4         53
Tabla 10: Movimientos Alternantes de las manos, velocidad promedio (cm/seg) de los pacientes
sanos 5 y 6
Tabla 11: Valoración del Golpeteo de los Dedos del paciente 1
Tabla 12: Valoración del Golpeteo de los Dedos del paciente 2
Tabla 13: Valoración del Golpeteo de los Dedos del paciente 3
Tabla 14: Valoración del Golpeteo de los Dedos del paciente 4
Tabla 15: Golpeteo de los dedos, velocidad promedio (cm/seg) de los pacientes sanos 5 y 6
56

## **RESUMEN**

La enfermedad de Parkinson (EP) es considerada a nivel mundial la segunda enfermedad neurodegenerativa después del Alzheimer. Afecta primordialmente a las neuronas del cerebro que se encargan del manejo y coordinación de los movimientos. Los principales síntomas que se presentan en la EP vienen caracterizados por temblores de reposo, rigidez, bradicinesia, entre otros. Debido a estos síntomas y conforme avanza la EP a los pacientes se le dificulta realizar actividades cotidianas y la socialización con las demás personas. Es por ello que se debe realizar una valoración apropiada de la EP que permita medicar y rehabilitar apropiadamente al paciente. El sistema tradicional de valoración de la EP se torna muy tedioso debido a las constantes repeticiones que realiza el paciente y se basa en una revisión clínica, mediante pruebas físicas predispuestas por el médico de acuerdo a sus habilidades de diagnóstico. Para dar solución a ese problema el presente trabajo desarrolló un sistema capaz de reconocer y analizar los movimientos de la mano en pacientes con la EP mediante visión artificial utilizando el dispositivo Kinect v2. Se analizaron dos tipos de actividades basadas en la escala UPDRS: movimientos alternantes de las manos y el golpeteo de los dedos. Para lograr este objetivo se investigó la incidencia que tiene la EP en el Ecuador, se revisó el estado de arte de los sistemas relacionados al estudio del Parkinson, con el fin de definir las pautas y características del sistema. Luego se programó el sensor Kinect mediante el software Processing, por último se realizó la validación del sistema realizando pruebas en pacientes enfermos y sanos. Para el diseño del sistema se usó Processing, que facilita la identificación y análisis de los movimientos alternantes de las manos y de los golpeteos de los dedos. Los datos adquiridos durante las prueba son almacenados en MySQL. La validación del proyecto es realizada en la Universidad del Adulto Mayor, en el área multisensorial donde se evaluaron a 4 pacientes enfermos con la EP y a 2 pacientes sanos, obteniendo resultados satisfactorios que demuestran que este sistema facilita al evaluador el diagnostico final del paciente.

Los resultados nos indican que se obtuvo un 85% de exactitud en la valoración realizada a los pacientes mediante el sistema, donde al comparar el paciente 1 con los pacientes sanos 5 y 6 en base a la actividad de los movimientos alternantes de las manos, se obtiene que en la mano derecha cuando el paciente esta medicado tiene un valor del 64% y cuando no está medicado del 50% en cambio en la mano izquierda cuando esta medicado se obtiene un porcentaje del 41% y cuando no está medicado un valor del 27%. El sistema desarrollado es apropiado para el monitoreo de las actividades y sirve de soporte al doctor en su diagnóstico final.

# INTRODUCCIÓN

En los últimos años, gracias a los grandes avances científicos la medicina y de la tecnología se ha incrementado la expectativa de vida de las personas. Estos avances se ven reflejados en la mejora de la calidad de vida de los adultos mayores, en especial en aquellos que sufren de algún tipo de enfermedad neurodegenerativa, como lo es la Enfermedad de Parkinson [1-3].

La enfermedad de Parkinson (EP) es considerada a nivel mundial la segunda enfermedad neurodegenerativa después del Alzheimer [2] [4]. Afecta primordialmente a las neuronas del cerebro que se encargan del manejo y coordinación de los movimientos, por lo que contribuye al deterioro de la calidad de vida del paciente. Su aparición se da principalmente en personas de avanzada edad generalmente entre los 50 – 65 años, afectando también en menor grado a personas jóvenes [12] [13]. La enfermedad de Parkinson puede manifestarse de dos maneras: la familiar o genética que se da en menor grado en los pacientes y la idiopática que se encuentra alrededor del 90% donde su causa sigue siendo aún una incógnita a pesar de los grandes hallazgos obtenidos [5] [13].

Los principales síntomas que se presentan en la EP vienen caracterizados por temblores de reposo, rigidez, bradicinesia y pérdida de los reflejos posturales [6] [7]. El diagnóstico de la EP se basa en una revisión clínica, mediante pruebas físicas predispuestas por el médico de acuerdo a sus habilidades de diagnóstico, si el médico no cuenta con la capacidad suficiente puede tornarse complicado debido a que sus síntomas y signos poseen características similares a las del envejecimiento [8] [14].

El sistema tradicional de valoración de la enfermedad de Parkinson se torna muy tedioso debido a las constantes repeticiones que realiza el paciente, el doctor debe estar alerta contabilizando y observando la ejecución de cada actividad. Con el presente sistema se pretende dar soporte y tener un diagnóstico más eficaz con el uso del sensor Kinect v2, el cual cuenta con algoritmos propios que son capaces de detectar los joints de las extremidades superiores mediante su cámara 3D, además cuenta con mejor campo de visión y resolución que la versión anterior. Mediante estas características se pretende realizar una herramienta capaz de analizar y detectar los movimientos de las manos, mediante el uso de filtros que capten únicamente la región de interés.

Existen una serie de sistemas desarrollados que se relacionan con el estudio de la enfermedad de Parkinson, dentro de los más importantes se encuentran los dispositivos con acelerómetros, pulseras, guantes que ayudan a la cuantificación de los temblores [13-19]. Existen aplicaciones móviles que recopilan y evalúan en tiempo real los movimientos de los dedos mediante sensores integrados.

En base a las características que presenta el actual sensor de Microsoft Kinect 2 este trabajo está enfocado en el desarrollo de un sistema que ayude a los procesos de detección, valoración y análisis de los movimientos básicos de la mano en pacientes con EP mediante el uso de técnicas de visión artificial.

Este proyecto tiene como meta servir de apoyo a los médicos durante la serie de evaluaciones que se realizarán a los pacientes, pretendiendo mejorar el modo tradicional de recolección de datos, los cuales serán almacenados en una base para el respectivo análisis del progreso de la enfermedad basándose en la escala UPDRS ya que es una de las técnicas más utilizadas por los médicos para

el diagnóstico y clasificación del grado de la enfermedad. El sistema propuesto es de bajo costo, no invasivo, amigable, escalable y ergonómico.

## **ANTECEDENTES**

De acuerdo a la encuesta realizada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en el año 2016 indica que de cada 100 personas una se ve afectada por la EP, existiendo más incidencia en personas mayores a 60 años. Hasta la fecha existen aproximadamente 6.3 millones de personas en el mundo con esta enfermedad, pero la OMS prevé que para el año 2030 la cifra superará los 12 millones [9] [10].

Desde su descubrimiento en el año de 1817, la enfermedad de Parkinson (EP) es considerada la segunda enfermedad neurodegenerativa a nivel mundial, debido a que afecta progresivamente las capacidades motoras y las actividades cotidianas de las personas que la padecen [11] [12]. Las mediciones realizadas en el año 2014 para medir la capacidad funcional de las personas que presentaban la EP se encontraban sujetas a una serie de sesiones y procesos muy simples como es el Test Senior Fitness el cual consistía en una evaluación de la fuerza, resistencia, flexibilidad, agilidad y equilibrio mediante ejercicios físicos permitiendo identificar el grado de afectación en la persona [13].

En la actualidad, los médicos especialistas se basan en el instrumento normalizado de evaluación clínica UPDRS (Escala Unificada para la Evaluación de la Enfermedad de Parkinson) para realizan el diagnóstico y monitoreo de los pacientes que padecen de la EP. Este instrumento se enfoca en la valoración de la función motriz de las extremidades superiores e inferiores, así como la experiencia subjetiva presentada por el paciente acerca de los síntomas, el desempeño de las actividades cotidianas y los efectos secundarios que producen los medicamentos, sin embargo su valoración final vendrá determinada por el grado de subjetividad y conocimiento que presente el médico, presentándose de esta manera valoraciones distintas entre los diferentes médicos especialistas[13] [14].

Con los avances tecnológicos de los últimos años muchos investigadores han desarrollado sistemas que ayudan al estudio y análisis de los temblores involuntarios presentes en la EP. Entre los trabajados más destacados se encuentra el presentado por François LeMoyne y otros, quienes desarrollan un sistema que trabaja mediante un acelerómetro inalámbrico 3D MEMS ubicado en el dorso de la mano, dicho sistema evalúa los atributos que presenta la persona en tiempo real y envía los datos obtenidos a una computadora de forma inalámbrica [15]. Otro sistema desarrollado es el de un diseño de guantes que permiten la cuantificación de temblores en los distintos pacientes que presentan EP durante el proceso de estimulación cerebral profunda (DBS), donde se obtiene un mejor ajuste de la intensidad del electrodo durante el proceso quirúrgico [16]. Otros investigadores han desarrollado una plataforma de evaluación clínica basada en un dispositivo pulsera el cual es determinante en el diagnóstico, logrando clasificar de forma concisa los diferentes tipos de temblores presentes en cada persona, los datos obtenidos mediante el dispositivo son enviados al computador vía bluetooth o transferidos mediante una tarjeta SD mini [17]. Por otro lado, Kostikis y su grupo de investigación diseñaron e implementaron una herramienta basada en teléfonos inteligentes la cual permite la evaluación de los temblores de la mano, esta herramienta adquiere las señales mediante el acelerómetro y giroscopio del teléfono con el cual obtiene un cálculo conciso del conjunto de métricas necesarias para cuantificar los síntomas del temblor del paciente [18]. Otros investigadores han desarrollado un sistema no invasivo basado en un sensor de adquisición 3D el cual es concluyente para el registro y análisis de las habilidades motoras finas de las manos, permitiendo realizar pruebas de manera natural y sin obstáculos [19].

Los estudios antes mencionados están basados en dispositivos que monitorean el temblor de la EP mediante acelerómetros. En este trabajo de grado se pretende desarrollar un sistema que permita monitorear el movimiento de la mano en las personas que padecen de la EP utilizando visión artificial mediante el uso del Kinect dos.

# JUSTIFICACIÓN

La enfermedad de Parkinson es un trastorno neurodegenerativo el cual se manifiesta con la presencia de temblores, rigidez muscular y lentitud en sus movimientos lo cual conlleva a una descoordinación de los movimientos, por lo general se presentan en personas de la tercera edad. Debido a la inactividad de las personas por causa de la enfermedad suelen aparecer trastornos secundarios como la disminución de la capacidad muscular, disminución de la movilidad de las articulaciones que provocan en el paciente una desmotivación total que afecta el estado de ánimo tanto personal como familiar del paciente [4] [20].

Debido a estos síntomas y conforme avanza la enfermedad de Parkinson se dificulta cada vez más la realización de las actividades cotidianas, la socialización con las demás personas y el estilo de vida de cada paciente, sin embargo la ejecución de actividades físicas es considerado un tratamiento de bajo costo debido a que aplaza el deterioro de la función motora considerándose una rehabilitación de suma utilidad.

Uno de los principales inconvenientes que suele presenciarse es cuando el médico especialista al comenzar el tratamiento no cuenta con el historial previo del paciente que contiene información objetiva y fundamental acerca de la amplitud, frecuencia, intensidad de los temblores y la medicación que toma el paciente, esto a su vez ocasiona un retraso en el diagnóstico del médico

Las personas que padecen de la EP tienden asistir a recuperación clínica por lo que se torna demasiado largo el proceso para notar mejoras en los trastornos, en la mayoría de los casos implica la utilización de sistemas que representan un elevado costo económico. El diagnóstico del doctor es un recurso fundamental para el tratamiento de los pacientes, este procedimiento al ser repetitivo suele tornarse muy cansado por lo que en el peor de los casos se podría llegar a obtener una mala valoración del médico debido al agotamiento laboral.

Actualmente existen muchas aplicaciones que se están desarrollando para el mejoramiento y ayuda de los equipos médicos mediante visión artificial entre los cuales tenemos el seguimiento de afecciones motoras, asistencia médica a distancia, entre otras. Sin embargo en el Ecuador no existen sistemas que usen sensores 3D para llevar el control del tratamiento de un paciente que ingiera medicamentos de acuerdo a las actividades motoras que se encuentren relacionadas al movimiento de las manos.

EL presente proyecto prevé obtener un fortalecimiento en la parte investigativa y tecnológica de la Universidad Politécnica Salesiana aplicada a la medicina, incitando a docentes y a estudiantes al desarrollo de proyectos relacionados a esta área ya que actualmente la tecnología es la base fundamental para el avance de la medicina.

## **OBJETIVOS**

#### **OBJETIVO GENERAL**

• Reconocer y analizar los movimientos de la mano en pacientes con enfermedad de Parkinson (EP) mediante visión artificial utilizando el dispositivo Kinect v2.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Investigar y analizar las diferentes características que presenta la Enfermedad de Parkinson, y su incidencia estadística en el Ecuador.
- Identificar y estudiar las diferentes tecnologías que permiten el análisis de la EP.
- Investigar las características y requisitos necesarios para el uso del sensor Kinect v2, así como sus parámetros y software necesarios para su respectivo proceso.
- Elaborar un algoritmo para el reconocimiento y procesamiento de movimientos de la mano en las personas que padecen de la EP.
- Desarrollar una interfaz y base de datos para el usuario de los resultados obtenidos.
- Probar y evaluar el funcionamiento en el laboratorio y en personas (sanas y con la EP) del sistema desarrollado.
- Elaborar un manual de uso del sistema y redactar un artículo científico con los datos obtenidos.

# **CAPITULO 1: Fundamentos Teóricos**

En el presente capitulo se explica en detalle las principales características, síntomas y fases presentes en la Enfermedad de Parkinson, así como también la escala unificada de la enfermedad de Parkinson (UPDRS), que actualmente es la más usada por los especialistas debido a su esquema completo de evaluación. Adicionalmente se da a conocer la incidencia estadística de la Enfermedad de Parkinson en el Ecuador y se seleccionan que actividades de las manos son necesarias para evaluar el diagnóstico y tratamiento de la persona que presenta la Enfermedad de Parkinson. Posteriormente se estudian las diferentes tecnologías que analizan los movimientos temblorosos de las manos en pacientes con EP, basados en diferentes sistemas que buscan la optimización de las técnicas de diagnóstico clínico. Por último se realiza una revisión bibliográfica de las características, diferencias y requisitos necesarios presentes para el manejo del sensor Kinect v2.

#### 1.1 La Enfermedad de Parkinson

La enfermedad de Parkinson (EP) fue descrita en Inglaterra en el año de 1817 por el médico inglés Dr. James Parkinson. Es considerada la segunda enfermedad neurodegenerativa después del Alzheimer, afecta al sistema nervioso de forma crónica y progresiva debido a que sus síntomas empeoran conforme avanza el tiempo, esta enfermedad se manifiesta cuando se presenta una degeneración de las células que producen la sustancia dopamina, la cual actúa como neurotransmisor encargándose de transmitir la información para que los movimientos del cuerpo se realicen adecuadamente [20] [21].

Se han registrado lesiones no solo de la sustancia química dopamina sino también de otros neurotransmisores como la serotonina, noradrenalina y la acetilcolina que afectan los síntomas no motores. No obstante el curso que toma esta enfermedad en cada paciente es diverso por lo que el tratamiento deberá ser peculiar para cada uno de ellos [22].

Sin embargo de acuerdo a pruebas de histopatología realizadas a personas y animales hace varios años nace una nueva hipótesis donde se estipula que el estrés oxidativo es el principal causante de la muerte de neuronas dopaminérgicas ya que tienden a ser selectivas y sensibles a las especies reactivas del oxígeno (ERO) [24].

Se ha demostrado científicamente que la EP afecta mucho más a hombres que a mujeres, siendo esta habitual en países sub-desarrollados donde su riesgo se ha incrementado aún más en zonas rurales y en personas que trabajan en ciertas profesiones, por lo que se ha postulado que la solución puede estar dentro de una mezcla genética ligada a factores ambientales [23].

Desafortunadamente, a pesar de los grandes estudios, pruebas e investigaciones realizadas hasta la actualidad no se conoce aún cuál es el origen exacto de la EP, por lo que no existe prevención ni cura alguna para esta enfermedad, sin embargo puede ser controlada mediante los debidos tratamientos y pautas establecidas por un especialista, por lo que la calidad de vida de los pacientes mejora considerablemente [25].

#### 1.1.1 Síntomas

La detección de la EP puede resultar muy complicada puesto que los síntomas que se presentan en cada persona son totalmente diferentes, además su diagnóstico puede tornarse aún más complicado porque existen afecciones que provocan síntomas similares a los de esta enfermedad [26], su dictamen final es totalmente clínico existiendo un margen de error del 5 al 10% [27]. Sin duda la EP no solo afecta a la persona que la padece sino todas aquellas que la rodean debido a que intervienen aspectos psicológicos, económicos y sociales donde tanto el paciente como la familia deberán saber sobrellevarlos [28].

Los síntomas de esta enfermedad se manifiestan cuando a lo largo de varios años la cantidad de dopamina se ha reducido entre un 20 y 40% de lo normal (figura 1), dando aparición a síntomas motores y no motores presentes en la EP, es importante tener en consideración que los síntomas no motores se presentan mucho antes que los motores los cuales suelen pasar de forma inadvertida o ser malinterpretados, todos los pacientes no contarán con los mismos indicios, ni su progreso se manifestará del mismo modo [22] [24] [29].

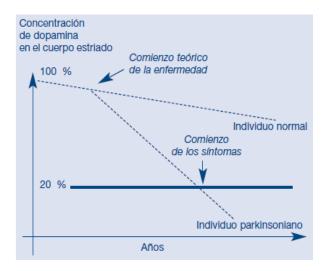


Figura 1. Concentración de dopamina **Fuente:** [30]

#### a) Síntomas Motores

Los síntomas que definen particularmente la EP son los cardinales o también llamados Síntomas Motores (SM), estos inician de forma asimétrica y gradualmente conforme avanza la enfermedad afectan al lado opuesto [31]. Se manifiestan mediante el temblor en reposo, lentitud de los movimientos (Bradicinesia), rigidez y las alteraciones posturales, basta con solo presentar dos de estos síntomas para que el especialista afirme que el paciente cuenta con la EP [22] [32].

Conforme avancen los síntomas del paciente, las actividades diarias se verán afectadas considerablemente alterando no solo sus características cinemáticas sino también su estabilidad temporal, del modo que cada vez serán menos capaces de valerse por sí mismos [32] [33].

Cada uno de estos síntomas cuenta con características peculiares las cuales son: temblor, Bradicinesia, rigidez e inestabilidad postural.

#### 1. Temblor

Debido a las numerosas etiologías y fisiologías que se presentan en el temblor no es posible clasificarlo, por lo que se clasificara de acuerdo al enfoque tradicional de la neurología clínica, los cuales se agrupan en síndromes que pueden desligarse basándose únicamente en la observación clínica [34] [67], de la siguiente forma:

- De acuerdo a las circunstancias en las que aparece: se tiene el Temblor en reposo siendo el más común, temblores durante la conservación de ciertas posiciones.
- > Según el área afectada del cuerpo: Extremidades superiores e inferiores, mandíbula, entre otras partes del cuerpo.
- ➤ Según la frecuencia en la que el temblor se pronuncia: En frecuencia baja (f<4Hz), medianas (4Hz <f>7Hz) y frecuencias altas (f>7Hz) [3] [67].

En base a los factores indicados, el temblor puede ser clasificado según la patología de trastorno del movimiento, dentro del cual existen tres grupos claramente identificados:

- a) El Temblor en Reposo (TR): de acuerdo a investigaciones realizadas aparece entre un 50 70% como primer síntoma de los afectados por la enfermedad de Parkinson, presentando inicialmente sus primeras anomalías de forma unilateral y conforme avanza la enfermedad puede esta tornarse bilateral [34] [44]. Afecta principalmente a las extremidades superiores y con menor frecuencia a cara, labios, mandíbula, músculos de la lengua y extremidades inferiores [35]. Los temblores se presentan a una frecuencia de entre 4-6 Hz, siendo el resultado de una contracción lenta de los músculos, estos tienden a desaparecer cuando se adopta una buena postura, al realizar movimientos o cuando el paciente se encuentra en estado de sueño [24][36]. Sin embargo se agravan debido a problemas de ansiedad, estrés, cansancio, deambulación y mediante esfuerzos de cálculo mental [44].
- b) El temblor en frecuencias más altas que los del TR: se encuentra conformado por pacientes que tienen episodios de TR junto con episodios de Temblor Esencial (TE). Adicionalmente en base a estudios realizados se documenta que los episodios del TR con los episodios del TE pueden coexistir juntos [3] [67].
- c) En este último grupo se excluye en su totalidad a los episodios de TR dando únicamente la presencia de episodios de TE como son los denominados posturales y cinéticos [3] [67].

#### 2. Bradicinesia

La Bradicinesia es considerado el síntoma más incapacitante debido a que provoca en el paciente lentitud en sus movimientos voluntarios presentándose estos tanto al inicio, como en su ejecución o finalización, cuyo enlentecimiento se hace mucho más notorio en movimientos repetitivos o alternantes de las extremidades [35][38].

De acuerdo a las propiedades con las que cuenta este síntoma se pueden diferenciar tres elementos que constituyen o forman parte de la bradicinesia:

- La bradicinesia como tal se encuentra dirigida al enlentecimiento de los movimientos voluntarios del paciente.
- La acinesia a modo de:
  - a) Carencia de los movimientos espontáneos (escasez de expresión facial) o en los movimientos asociados (reducción del braceo al deambular).
  - b) Dilación en el inicio de los movimientos o en el cambio a través de dos movimientos fluidos.
- La Hipocinesia se presenta como la disminución de la amplitud del movimiento [38].

En las actividades diarias la bradicinesia junto con los temblores y la rigidez desencadenan en el paciente problemas de cansancio, debilidad muscular intensa y una sensación de incoordinación motora que provoca que tareas tan simples como vestirse, escribir, abrocharse y muchos otros labores diarios se vuelvan sumamente complicados de realizar [35] [37] [38]. En etapas más avanzadas el síntoma da a conocer sus aspectos más perjudiciales como los repentinos episodios de congelamiento, problemas al levantarse y un mayor compromiso a nivel axial [38].

#### 3. Rigidez (Hipertonía)

En sus primeros indicios la rigidez es a menudo poco distinguida por la persona que padece la EP, conforme avanza la enfermedad el paciente comenzará a notar cambios en forma de rigor o contracción muscular [32] [39]. Este rigor se caracteriza por la presencia de una tensión muscular constante e involuntaria que comienza afectar a un solo lado del cuerpo al igual que el temblor y la bradicinesia, claro está que su impacto dependerá del progreso de la enfermedad [37] [40].

La rigidez consiste en el aumento del tono muscular durante el movimiento pasivo de una extremidad, esto se produce al efectuar un estiramiento del musculo por lo que el musculo adverso no se relaja totalmente provocando que este se contraiga [32] [41].

Cabe resaltar que la rigidez es mucho más obvia en las secciones distales de las extremidades y en las articulaciones de tobillo y muñeca, además tiende aumentar con el estrés y a exagerar cuando se requiere que el paciente efectué movimientos voluntarios repetitivos lo cual puede causarle mucha molestia e incluso dolor [24] [43] [44].

#### 4. Inestabilidad Postural

La alteración postural es considerada el último síntoma en aparecer y el que peor responde a un tratamiento, debido a que la EP avanza progresivamente causando en el paciente problemas de estabilidad postural y deterioro del equilibrio [20] [31] [44]. Por lo general conforme avanza la enfermedad el paciente comienza a notar cambios posturales imperceptibles que ocurren en su cuerpo, adoptando cada vez una postura más encorvada [22] [45].

Este síntoma se torna muy incómodo para el paciente debido a que no es capaz de realizar por si solo tareas tan sencillas como levantarse, asearse, girar, caminar, etc. por riesgos a caídas y lesiones que pueden comprometer aún más su estado de ánimo causando en muchas ocasiones una severa depresión que afecta tanto al paciente como a los que se encuentran bajo su responsabilidad [42] [45].

#### b) Síntomas No Motores (SNM)

Además de los síntomas motores los cuales son comunes en la mayoría de los pacientes existen unos menos explorados como son los síntomas no motores, estos se producen por acumulación de proteínas o también llamados cuerpos de Lewy en áreas del sistema nervioso, se caracterizan por ser silenciosos es decir pasar inadvertidos degradando la calidad de vida de las personas que padecen de la EP [46] [47].

Dentro de los SNM existen una gran variedad de trastornos y problemas que se agrupan de la siguiente manera:

- Trastornos Neuropsiquiátricos: Depresión, ansiedad, anhedonia, apatía, ataques de pánico, psicosis, déficit de atención, confusión, Deterioro cognitivo leve, demencia, alucinaciones (sobre todo visuales), ilusiones, delirios que pueden ser provocados en muchos casos por la medicación.
- Trastornos del Sueño: Insomnio de conciliación, despertar precoz, trastorno de conducta del sueño REM, ataques de sueño, hipersomnia diurna excesiva y sueño fragmentado.
- Alteraciones Sensoriales: Hiposmia, trastorno visuales (visión borrosa, diplopia), sensación de entumecimiento, sensación de tensión muscular, rigidez, hormigueo y diferentes variaciones de dolor (dolor musculoesqueletico, distónico, radicular, neuropático, entre otros.).
- Autonómica: disfunción cardiovascular, disfunción sexual (impotencia, disminución del libido), disfunción gastrointestinal (estreñimiento, sialorrea, incontinencia fecal, disfagia, gastroparesia), disfunción urogenital (urgencia miccional, nicturia, polaquiuria) y alteraciones de la termorregulación.
- Otras Alteraciones: Fatiga, seborrea, alteraciones respiratorias, pérdida de la masa ósea [47] [48] [49] [50] [51].
- Trastornos del control de impulsos (TCI): Últimamente los TCI son de gran interés dentro de la EP, ocurren en un 13.6% en los pacientes que padecen de esta enfermedad. Dentro de los TCI más comunes tenemos las compras compulsivas, los juegos patológicos, el comportamiento sexual forzoso y la alimentación compulsiva [52] [53].

#### 1.1.2 Fases de la Enfermedad de Parkinson

La enfermedad de Parkinson al ser neurodegenerativa y progresiva presenta una serie de complicaciones y etapas que ocurren en la vida del paciente, tanto sus síntomas como su evolución son totalmente diferentes en cada persona, a continuación se describen cada una de las fases que el paciente debe atravesar:

- ➤ Enfermedad leve: En esta etapa de la enfermedad la persona exhibe una ligera rigidez, disminución del braceo en el costado afectado y pequeños temblores. La incapacidad en esta fase es totalmente despreciable ya que el paciente realiza sin ninguna objeción sus actividades diarias.
- ➤ Enfermedad Moderada: En esta fase el paciente comienza a tener muchas dificultades para llevar a cabo sus actividades habituales, debido a que sus síntomas motores y no motores son más notorios por lo que necesita ayuda para realizar ciertas actividades como abotonarse, afeitarse, cortar alimentos, levantarse de la cama, entre otras. En este punto la afección ya se pronuncia de forma bilateral, existe una mayor rigidez, leve braceado, pero cabe resaltar que no existen aún episodios de congelación de la marcha ni inestabilidad postural.
- ➤ Enfermedad Avanzada: A diferencia de las otras etapas en esta el paciente se encuentra en un estado muy crítico debido a que no es capaz de por sí solo realizar sus actividades sino que siempre dependerá de una tercera persona, por lo que pasa mucho tiempo sentado y postrado en la cama. Esta fase se presentan los llamados periodos "ON" y "OFF", el periodo "OFF", hace referencia a los lapsos del día donde los síntomas parkinsonianos se agudizan aún más, usualmente cuando el medicamento deja de hacer efecto o cuando el paciente no lo ha tomado, en cambio los periodos "ON" los cuales se encuentran presentes en la mayor parte del día sus síntomas son menores, sucede cuando el paciente esta medicado, cabe resaltar que todo dependerá del progreso que tenga la enfermedad en el paciente [35] [54].

#### 1.2 Escala para evaluar la Enfermedad de Parkinson

Desde años anteriores los especialistas han optado por utilizar escalas que faciliten el diagnóstico de pacientes con la EP. Actualmente existe una extensa variedad de estas escalas por lo que se mencionaran algunas de ellas: Hoehn y Yahr, Ziegler-Bleton, Escala de NUDS, Escala de Webster, Escala de CURS, Escala de la Marcha para la Enfermedad de Parkinson, Escala de King College Hospital, Escala de ISAPD y por último tenemos la Unified Parkinson's Disease Rating Scale (UPDRS) que es actualmente la más utilizada por doctores, debido a que cuenta con un esquema de evaluación muy completo [55].

La Escala de Evaluación de la Enfermedad de Parkinson Unificada (UPDRS) fue creada en la década de los 80 por un comité dirigido por el profesor Stanley Fahn y se ha convertido desde entonces en la evaluación clínica más utilizada a nivel mundial, a diferencia de las demás escalas esta se basa en un sistema de clasificación proyectada al seguimiento longitudinal de la trayectoria de la EP [56] [61].

La UPDRS es una herramienta útil para estudiar la progresión y la respuesta al tratamiento de la enfermedad en el paciente. Se basa en un sistema de varios dominios, que comúnmente se califican de 0 (sin alteraciones) a 4 (deterioro severo).

- 1. El dominio I: evalúa el estado mental, conducta y estado de ánimo.
- 2. El dominio II: se enfoca en las actividades de la vida diaria.
- 3. En el dominio III: se realiza la valoración de los signos motores
- 4. En el dominio IV: se encuentran las complicaciones del tratamiento [57] [58].

En la tabla 1 se describen los elementos que conforman a cada uno de los dominios de la escala UPDRS. En total se evalúan 44 ítems, de los cuales 37 se califican en el rango de 0 a 4 y los otros 7 ítems con contestaciones de "SI" o "NO".

**Tabla 1.** Ítems evaluados en los 4 dominios de la escala UPDRS [68] [70] [71].

DOMINIO I: Estado mental, conducta y Humor				
Afectación Intelectual	Depresión			
Trastornos del Pensamiento	Motivación - Iniciativa			
DOMINIO II: Actividades de la vida Diaria				
Lenguaje Volverse en la cama/ Ajustar las sában				
Salivación	Caídas			
Deglución	Congelación al caminar			
Escritura	Caminar			
Cortar Alimentos/ Manejar Utensilios	Temblor			
Vestir	Síntomas sensoriales relacionados con el			
Higiene	Parkinsonismo			
DOMINIO III:	Examen Motor			
Lenguaje	Pronación - supinación de las manos			
Expresión Facial	Agilidad de las piernas			
Temblor de Reposo en MMSS y MMII	Levantarse de la silla			
Temblor Postural o de acción de las manos	Postural			
Rigidez (Axial, MMSS y MMII)	Marcha Estabilidad Postural			
Golpeteo de dedos de las manos	Estabilidad Postural			
Movimientos alternantes con las manos	Bradicinesia e Hipocinesia			
DOMINIO IV: Complicaciones del Tratamiento				
Duración de Discinesias	Fluctuaciones (periodos off de instauración)			
Incapacidad de Discinesias	Fluctuaciones (proporción del día vigil - off)			
Discinesias dolorosas	Presenta (Anorexia, náuseas o vómitos)			
Presencia de Distonia Matutina	Presenta trastorno del sueño			
Fluctuaciones (periodos off predecibles)	Tiene ostostatismo sintomático			
Fluctuaciones (periodos off impredecibles)				

De acuerdo a la estructuración con la que cuenta esta escala de diagnóstico es importante tener en consideración que los dominios I y II son evaluados directamente al paciente y a la persona que se encuentra bajo su cuidado, sin embargo en los dominios III y IV su evaluación es plenamente instruida por el médico siendo este el que dicte el estado del paciente [59] [60].

#### 1.3 Selección de actividades de las manos

Para seleccionar las actividades de las manos se tomara en cuenta las pruebas del examen motor de las extremidades superiores (Dominio III de la escala UPDRS), seleccionando únicamente las actividades de los pacientes de Parkinson que pueden ser cuantificadas y estudiadas mediante el sensor de Microsoft Kinect V2. A continuación se indican estas actividades:

#### 1.3.1 Golpeteo de los dedos de las manos

La actividad del Golpeteo de los Dedos como se observa en la figura 2, consiste en golpes rápidos y amplios sucesivamente entre el dedo índice y pulgar. Para la puntuación cada mano es evaluada por separado donde se valora velocidad, amplitud, titubeos e interrupciones [68].

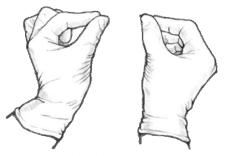


Figura 2. Golpeteo de los dedos en ambas manos **Fuente:** [69]

#### 1.3.2 Movimientos alternantes con las manos

En este tipo de actividad los movimientos sucesivos de apertura y cerradura de las manos se realizan rápidamente como se aprecia en la figura 3, tomando en consideración que el brazo debe estar doblado y que la palma de la mano debe encontrarse en dirección al evaluador. De la misma manera que la actividad anterior cada mano es evaluada por separado y se valora velocidad, amplitud, titubeos e interrupciones [68].

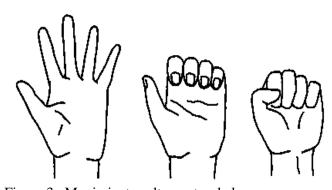


Figura 3. Movimientos alternantes de las manos **Fuente:** [64]

#### 1.4 Incidencia de la enfermedad de Parkinson en el Ecuador

La enfermedad de Parkinson es considerada altamente incapacitante, su edad media de comienzo se encuentra alrededor de los 55 a 65 años, no obstante también se presenta de forma temprana en personas de entre los 20 a 50 años con una menor proporción de incidencia [61] [62].

De acuerdo a los datos revelados por la Organización Mundial de la Salud en el año 2006, "La Enfermedad de Parkinson es un trastorno universal, con una tasa cruda de incidencia anual de 4,5 a 19 por cada 100.000 habitantes por año. La amplia variación de las estimaciones de la incidencia probablemente refleje diferencias en la metodología e identificación de los casos así como también en la distribución por edad de las muestras de población. Las tasas ajustadas por edad proporcionan una cifra más realista, que varía entre 9,7 y 13,8 por cada 100.000 habitantes por año" [63].

En el año 2014 el Ministerio de Salud Pública del Ecuador (MSP) realiza un censo donde dio a conocer las cifras correctas acerca de la incidencia de la EP en el país, cuyos datos son presentados en perfiles de morbilidad ambulatoria, morbilidad hospitalaria y defunciones relacionadas con la EP, tal como se muestra en la tabla 2 [3] [66]. Adicionalmente, en la misma tabla se evidencia los datos de incidencia de la EP en la provincia del Azuay.

**Tabla 2.** Datos estadísticos en el Ecuador relacionados a la EP en el año 2014 [3] [65] [66].

DATOS ESTADISTICOS RELACIONADOS CON LA EP EN EL ECUADOR – AÑO 2014					
PERFIL	SEXO		EP TOTAL	EP EN LA PROVINCI	
	MASCULIN O	FEMENIN O	EN EL ECUADO R	A DEL AZUAY	
MORBILIDAD HOSPITALARI A	135	76	211	9	
MORBILIDAD AMBULATORI A	1791	1543	3334	126	
DEFUNCIONE S GENERALES DE LA EP	98	70	168	3	

En la tabla 3 se aprecian los datos estadísticos relacionados con la EP en el Ecuador del año 2015 [66]. Analizando detenidamente de acuerdo a la tabla 2 se observa que existe un ligero aumento de personas que padecen de la EP en el Ecuador, en cambio dentro de la provincia Azuay la tasa ha aumentado casi al doble de personas que padecen de esta enfermedad.

Tabla 3. Datos estadísticos en el Ecuador relacionados a la EP en el año 2015 [66].

DATOS ESTADISTICOS RELACIONADOS CON LA EP EN EL ECUADOR – AÑO 2015					
PERFIL	SEXO		EP TOTAL	EP EN LA PROVINCI	
	MASCULIN O	FEMENIN O	EN EL ECUADO R	A DEL AZUAY	
MORBILIDAD HOSPITALARI A	-	-	-	-	
MORBILIDAD AMBULATORI A	1978	1582	3560	242	
DEFUNCIONE S GENERALES DE LA EP	107	81	188	15	

Conforme a la evaluación realizada por el Ministerio de Salud Pública del Ecuador en el año 2016, la tabla 4 muestra los datos estadísticos de la EP [66]. Si comparamos estos datos con los datos de las tablas 2 y 3 notamos que el número de pacientes diagnosticados con la EP en el Ecuador ha ido creciendo así como los decesos relacionados con la EP.

**Tabla 4.** Datos estadísticos en el Ecuador relacionados a la EP en el año 2016 [66].

DATOS ESTADISTICOS RELACIONADOS CON LA EP EN EL ECUADOR - AÑO 2016					
PERFIL	SEXO		EP TOTAL EN EL	EP EN LA PROVINCIA	
	MASCULINO	FEMENINO	ECUADOR	DEL AZUAY	
MORBILIDAD HOSPITALARIA	-	-	-	-	
MORBILIDAD AMBULATORIA	2337	1834	4172	242	
DEFUNCIONES GENERALES DE LA EP	121	97	218	19	

# 1.5 Estado del arte de las tecnologías que analizan los movimientos de la mano en personas que padecen de la EP

Actualmente con el gran avance tecnológico es usual que profesionales del área médica recurran a sistemas que faciliten y optimicen el diagnostico en las personas que padecen de la EP, ya que debido a la complejidad que presenta la enfermedad existen variables que no pueden ser analizadas por especialistas, es por ello que mediante estos sistemas se pretende medir, controlar y estudiar dichas variables con el fin de asociar ciertos males que oprimen a la sociedad [72]. A continuación se dará una revisión del estado del arte de algunos de estos sistemas que han transformado al mundo actual.

Como primer estudio tenemos el diseño de un sistema inalámbrico ubicado en el dorso de la mano el cual cuenta con un sensor digital combinado con un acelerómetro y giroscopio de 3 ejes que captan los datos de aceleración, amplitud y frecuencia de los temblores. Los datos obtenidos son enviados al dispositivo Android del evaluador siendo estos analizados en la aplicación Monitor de Parkinson. Adicionalmente, el sistema propuesto cuenta con un almacenamiento de respaldo (micro SD) cuyos datos son guardados en formatos CSV que ocupan poco espacio. Este sistema envía mediante email los resultados finales del paciente, optimizando de mejor forma el tiempo de la evaluación clínica, en la Figura 4 se puede observar el sistema propuesto. [3].



Figura 4. Sistema de monitoreo de los temblores en pacientes con EP **Fuente:** [3]

Otro sistema desarrollado es el de una herramienta no invasiva basada en teléfonos inteligentes el cual trabaja con un acelerómetro y giroscopio incorporado en el teléfono que ayudan al cálculo del conjunto de métricas para la cuantificación de los temblores de la mano. Este método es diseñado en modo aplicación y se encuentra disponible para sistemas IOS y Android, su programación se encuentra en modo abierto para que desarrolladores puedan diseñar nuevas aplicaciones o ampliar sus funcionalidades. La transmisión de sus datos se genera en tiempo real mediante el protocolo TCP/IP por lo que permite que el médico se encuentre conectado con el paciente en todo instante monitoreando de esa forma el transcurso de la enfermedad [18], como se puede observar en la Figura 5.



Figura 5. Herramienta para evaluar el temblor Parkinsoniano de las manos **Fuente:** [18]

En [19] se propone un sistema desarrollado mediante un sensor de profundidad 3D en el cual se analizan las actividades motoras finas de las manos según la escala UPDRS, dichas actividades son el golpeteo de los dedos, movimientos de las manos (abre y cierras las manos) y los movimientos alternantes de las manos (pronación y supinación). La adquisición de los datos es obtenida en 4 matrices con una velocidad de 24 fotogramas por segundo mediante el sensor 3D basado en la tecnología Time of Flight (TOF), mediante la máquina de vectores de soporte (SVM), como se puede observar en la Figura 6. Se realiza la clasificación entre pacientes sanos y enfermos. Para el diagnóstico final se elige la acción manual del caso más desfavorable por lo que sí al menos una de estas acciones presenta EP el paciente será clasificado como enfermo de Parkinson.

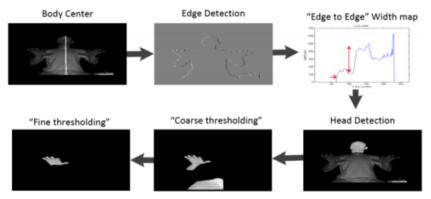


Figura 6. Sistema de evaluación automática con el sensor de profundidad 3D **Fuente:** [19]

Otros investigadores han desarrollado una aplicación móvil HLTapper para sistemas Android donde se almacena y evalúa los datos de los movimientos alternativos del golpeteo de los dedos en tiempo real dentro del cual se consideran las coordenadas x, y, el tiempo, la velocidad, la aceleración y el intervalo de toque. Dentro de esta base de datos se extraen 4 parámetros importantes que son la velocidad media de golpeteo, varianza de golpeteo horizontal, varianza de golpeteo vertical y variación temporal del intervalo del golpeteo entre dos tomas consecutivas, como se puede observar en la Figura 7. Esta herramienta cuenta con instrucciones establecidas por la interfaz de la aplicación de acuerdo a la escala UPDRS donde se realizan tareas de movimientos de tocar con el dedo, siendo esta factible para el diagnóstico precoz de pacientes con EP y para un ajuste del plan de tratamiento del paciente. El resultado se muestra en la pantalla principal y puede ser enviado a cualquier sitio donde su estado puede ser valorado por un especialista [73].

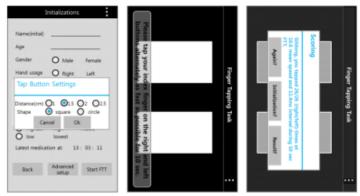


Figura 7. Aplicación móvil para el diagnóstico precoz del golpeteo de los dedos **Fuente:** [73]

Otro sistema desarrollado es el de un dispositivo que mediante acelerometría diagnostica. El sistema clasifica y controla el temblor parkinsoniano, el temblor inducido por cafeína y el temblor esencial. Las señales obtenidas del acelerómetro son sometidas a la transformada rápida de Fourier para obtener los parámetros de frecuencia y amplitud de los temblores de la mano [74]. La implementación de este sistema se puede observar en la Figura 8.

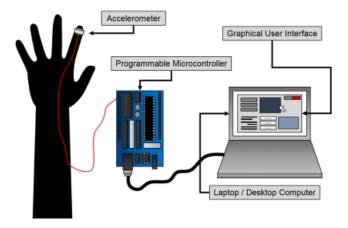


Figura 8. Sistema analizador del temblor de las manos con acelerometría **Fuente:** [74]

El sistema mide y muestra los datos obtenidos, donde la frecuencia es la clave fundamental para la detección del tipo del temblor, su precisión es garantizada mediante un variador de frecuencia por otro lado la amplitud controla la intensidad del temblor y su calibración de lectura es dada mediante una guía lineal que cuenta con diferentes configuraciones de desplazamientos fijos. El análisis de los temblores fue realizado mediante el software de Matlab donde se analiza cada tipo de temblor de acuerdo a las características de frecuencia y amplitud que presentan estos. Esta herramienta cuenta con una interfaz gráfica de usuario donde se visualizan todos los datos almacenados y procesados [74].

# 1.6 Selección de una tecnología que se adapte al análisis del movimiento de las manos de las personas que sufran de la EP.

Existe una gran variedad de tecnologías dedicadas al estudio del movimiento de las manos en personas que sufren de la enfermedad de Parkinson las cuales han surgido con el propósito de excluir las evaluaciones clínicas convencionales utilizadas por los médicos. El objetivo principal de todas estas tecnologías es alcanzar una alta precisión de evaluación, con el fin de que los especialistas puedan hacer uso de estas grandes herramientas de análisis pudiendo así monitorear todas las etapas que engloba la EP.

Dentro de las tecnologías propuestas se encuentra la herramienta Kinect que cuenta con una amplia gama de funcionalidades que la hacen altamente robusta para la detección y seguimiento de coordenadas, sin embargo este sensor cuenta con algunas limitaciones referentes al ángulo de visión, reconocimientos de los joint, cámara de profundidad y resolución. La razón para elegir el Kinect 2 en este proyecto es porque posee un hardware más robusto, preciso y rápido que la versión 1.

El sensor de Microsoft Kinect V2 tiene la propiedad de detectar con mayor velocidad su entorno, teniendo la capacidad de diferenciar la orientación de manos y dedos, por lo que es una herramienta acorde para el estudio de las actividades de golpeteo de los dedos, movimientos alternantes de las manos (abre y cierra las manos) que son los objetivos principales de este proyecto [75].

Con la selección de esta nueva tecnología de Microsoft Kinect v2 lo que se prevé es la obtención de un mejor sistema de evaluación del temblor en los pacientes que sufren la EP comparada con la versión 1. Una de las características más relevantes del Kinect V2 es su cámara de profundidad que procesa la información existente entre el sensor y el objeto mediante el método de tiempo de vuelo, el cual usa sensores activos para medir la distancia de una zona calculando el tiempo de ida y vuelta de un pulso de luz; en cambio con la versión 1 se usaba el método de luz estructurada, donde se proyecta patrones que permiten la adquisición de muestras simultáneamente [75].

#### 1.7 Visión Artificial

En esta sección se describen los elementos necesarios para la detección y extracción de la información requerida para el análisis de los movimientos de las manos en personas que padecen de la EP.

#### 1.7.1 Hardware del Kinect

## a) Sensor Kinect V2.0 para Windows

El Sensor Kinect V2 es originalmente conocido como "Proyect Natal", fue comercializado por primera vez por Microsoft el 4 de Noviembre del 2010 para el Xbox 360, en junio del 2011 fue lanzado para PC a través de Windows 7 y Windows 8. [76] La nueva versión del sensor Kinect como se muestra en la Figura 9, fue anunciada en noviembre del 2013 para la consola Xbox One el cual viene con mejoras que ayudan a una mejor captación de los movimientos y entorno que se encuentran en su alrededor, este además de ser mucho más robusto cuenta con un método mucho más eficaz para análisis y detección que la anterior versión [76] [77].



Figura 9. Kinect v2.0 **Fuente:** [77]

El Kinect es un sensor de profundidad que cuenta con un software para reconocimiento de personas, este dispositivo está diseñado para estar en posición horizontal debido a su forma rectangular alargada. El Kinect a diferencia de otros dispositivos no es invasivo basta con encontrarse dentro del rango de sus especificaciones para que la información sea recopilada. Este dispositivo el cual se muestra en la Figura 10, cuenta con una cámara RGB, cuatro micrófonos multi-array bidireccional y un sensor de profundidad con los que se encarga de capturar las imágenes y movimientos de los cuerpos en 3D [78] [79].



Figura 10. Componentes del Kinect v2.0 **Fuente:** [80]

El Kinect para Windows es un sensor muy versátil ya que al poseer una cámara convencional RGB es capaz de capturar imágenes o videos a color gracias a la teoría básica de colores (rojo, verde y azul), posee un emisor de infrarrojos por lo que es capaz de captar los movimientos del cuerpo a oscuras. Tiene la capacidad de rastrear hasta 6 personas y de cada persona identificar hasta 25 articulaciones. Su cámara de profundidad calcula la distancia entre el sensor y el objeto con resolución milimétrica, la cual cuenta con dos funciones: generar un mapa en 3D de la imagen que tiene en su entorno y distinguir los movimientos humanos entre los objetos [79] [80].

#### b) Adaptador Kinect para Windows

El Kinect V2.0 requiere de otro componente como es el adaptador para Windows como se muestra en la Figura 11, dentro del cual viene incorporado un cable de alimentación al sensor que trabaja en el rango de 100 – 240 voltios, adicionalmente cuenta con un conector USB 3.0 con controlador dedicado para salida a PC [79].

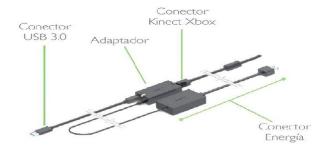


Figura 11. Adaptador Kinect para Windows **Fuente:** [79]

#### c) Especificaciones del Kinect

Dentro de esta sección se da a conocer las consideraciones físicas y técnicas que posee el sensor Kinect V2, donde se detalla las características internas de su estructura, ángulo de visión, reconocimiento, modelo del esqueleto completo y sentado.

#### • Cuerpo

En la Figura 12 se observa las consideraciones físicas que posee el sensor Kinect V2.

- Los límites físicos (de alcance) o por defecto: 0.5 m 4.5 m
- Los puntos de precisión: 0.8 m 3.5 m

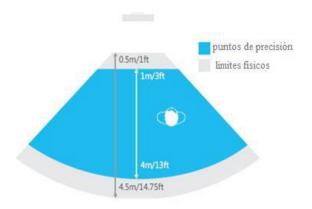


Figura 12. Consideraciones físicas del sensor **Fuente:** [79] [81]

#### • Angulo de visión

El ángulo de visión que alcanza la versión 2 del Kinect se aprecia en la Figura 13, donde se detalla el alcance tanto de forma vertical y horizontal.

Horizontal: 70 gradosVertical: 60 grados

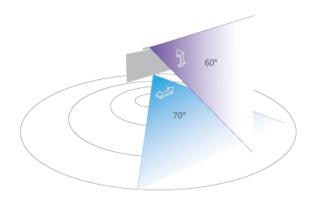


Figura 13. Angulo de visión. **Fuente:** [79] [81]

#### Reconocimiento de esqueletos

La nueva versión Kinect 2.0 puede hacer un reconocimiento en su entorno de hasta seis personas como se aprecia en la Figura 14, identificando en cada uno la misma cantidad de articulaciones, estos pueden ser rastreados ya sea que la persona se encuentre de pie o sentado.

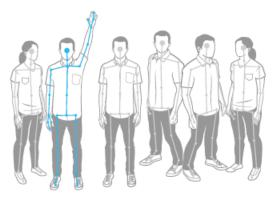


Figura 14. Reconocimiento del esqueleto **Fuente:** [79] [81]

#### Modelo del esqueleto completo

Kinect para Windows cuenta con un rango de detección máximo de hasta 25 articulaciones en modo de esqueleto completo como se observa en la Figura 15, siendo capaz de detectar hasta los movimientos de los dedos.



Figura 15. Modelo del esqueleto completo **Fuente:** [79] [81]

#### • Modelo del esqueleto sentado

En este modelo el Kinect para Windows es capaz de detectar solo 10 articulaciones de extremidades superiores como se observa en la Figura 16, logrando hacer seguimiento de los dedos por lo que es un modelo factible a seguir para la realización de las pruebas en pacientes con la EP.



Figura 16. Modelo del esqueleto sentado **Fuente:** [79] [81]

#### d) Funcionamiento del Kinect V2

Las características internas del Kinect permiten la captura de imágenes en tiempo real, según expertos esta tecnología se encuentra disponible desde más de 15 años por lo que Microsoft solo ha conseguido disminuir costos. Para el reconocimiento de imágenes, Kinect utiliza un proyector y una cámara infrarroja VGA. Lo que respecta a la profundidad de los objetos es captada mediante el método time of light lo que hace posible obtener la distancia de ida y vuelta desde el sensor hasta el objeto, con el rebote de los haces de luz se puede diferenciar entre los objetos estáticos y personas en movimiento [79] [82].

Con la información obtenida en las actividades de las manos y dedos se realizan una serie de filtros mediante software donde el sensor identifica al objeto basándose en un sistema de directrices. Una vez que se cuenta con la información adecuada se identifican las partes del cuerpo a analizar, teniendo en consideración que el principal inconveniente puede encontrarse en la asignación de los dedos ya que estos deben ser asignados de forma individual [79] [82].

# e) SDK 2.0 de Kinect

El SDK (Software Development Kit) para Windows es un paquete de herramientas que permite a desarrolladores crear nuevas aplicaciones basadas en reconocimiento de gestos y voz con la ayuda de la tecnología del sensor Kinect [85].

Este paquete incluye:

- Controladores para el manejo del sensor Kinect mediante el sistema operativo Windows.
- Interfaces del dispositivo y de programación de aplicaciones (API's)
- Ejemplos de códigos fuentes.

Los requerimientos necesarios del sistema para la instalación del SDK son los siguientes.

- Procesador de 64-bit (x64)
- Memoria de 4GB o mas
- Controlador USB 3.0 dedicado
- Adaptador de gráficos con capacidad DX11
- Procesador físico de doble núcleo 3.1 GHz.
- Microsoft .NET Framework 4.0 o superior
- Windows 8.0 o superior [85].

#### 1.7.2 Software del Kinect

Los programas y librerías necesarias para la obtención de la información de las imágenes 3D provenientes del Kinect se dan a conocer en este apartado.

# a) Processing

Processing es un software libre con un lenguaje de programación basado en Java, se caracteriza por ser flexible y es utilizado como una herramienta para la producción de proyectos multimedia [86].

- Cuenta con una ventana visual para el entorno de desarrollo integrado (IDE).
- Cada esquema incorporado en Processing es una subclase PApplet, poniendo en marcha el lenguaje de Processing en su mayor parte.
- Permite la creación de clases propias del usuario [86].

#### b) Librerías

Processing cuenta con librerías cargadas dentro de su biblioteca, las cuales para ser utilizadas deben ser instaladas siguiendo unos sencillos pasos. Dentro del sistema LeePark se utilizaron librerías con características propias para el desarrollo de cada parte del proyecto las cuales son detalladas a continuación.

La librería KinectPv2 brinda al sistema la capacidad de procesar las imágenes obtenidas por el sensor Kinect, permitiendo el seguimiento del esqueleto e identificando los Joints de las manos.

Para el diseño de la interfaz gráfica se utilizó la librería ControlP5, la cual cuenta con una gran cantidad de controladores que ayudan a la construcción de la parte multimedia del sistema.

Para el filtrado de las imágenes se utilizó la librería OpenCV of Processing, con el cual se obtiene un mejor procesamiento de las imágenes pudiendo identificar la región de interés (ROI). El uso de los colores RGB y HSB fueron las funciones que se usaron para la detección del color en el dedal ubicado en el dedo índice.

Por último para enlazar la base de datos con el software Processing se empleó la librería BezierSQLib, permitiendo al programar un mejor manejo de los datos recopilados mediante el Kinect [87].

# CAPITULO 2: Metodología

En el presente capitulo se especifica los puntos necesarios para la instalación del sensor Kinect V2 con el adaptador para Windows, donde se indica el proceso correcto para que el sistema tenga un buen funcionamiento.

En la calibración del sistema se detallan los parámetros que se deben tomar en consideración dentro del entorno de trabajo; como es la iluminación, distancia, ángulo de inclinación y altura, cada uno estos parámetros son definidos mediante sucesivas pruebas que dictaminan el lugar o valor más adecuado para la captura correcta de los datos.

Por último se describen las actividades que el sistema va analizar a partir de las imágenes 3D obtenidas por el sensor Kinect, así como sus características y técnicas utilizadas para su implementación. Se exponen los algoritmos utilizados en el desarrollo de la interfaz y la interacción existente con la base de datos. El sistema está compuesto básicamente en dos partes, la primera indicando el procesamiento de las imágenes obtenidas con el sensor Kinect mediante Processing con el uso de librerías como KinectPV2, OpenCV y la segunda se basa en el desarrollo de una interfaz que da al Doctor un manejo más sencillo del sistema mediante el uso de la librería ControlP5. Se detalla además su iteración existente con la base de datos la cual fue desarrollada mediante PHP y MySQL para el respectivo almacenamiento de los registros y resultados.

#### 2.1 Instalación

#### 2.1.1 Instalación del sensor Kinect v2.0

Dentro del desarrollo de este sistema, el sensor Kinect es el elemento tangible principal por lo que se considera indispensable tomar en cuenta los requisitos necesarios para su correcta instalación, así como sus respectivas recomendaciones al momento de montar el sensor en el entorno de trabajo[83] [84].

# a) Requisitos

Los requisitos a tomar en consideración para la instalación del sensor Kinect se detallan a continuación:

- Sensor Kinect v2 Xbox One.
- Ordenador de doble núcleo, 3,2 GHz o superior.
- Tarjeta gráfica con soporte DirectX 11.0
- 8 GB de memoria RAM
- Windows 8 o superior [84].

#### b) Recomendaciones

Para la correcta instalación del sensor Kinect dentro del entorno de trabajo se debe de tomar en cuenta cada uno de los siguientes puntos que se mencionan en esta sección.

• Tener instalado los controladores más recientes de Windows Update.

- Ubicar el sensor en una superficie plana y estable (para este sistema se utilizará un trípode como soporte).
- No colocar el sensor Kinect cerca de un altavoz o zona vibrante
- Verificar que la parte frontal del sensor Kinect no se encuentre obstruida por cables u objetos.
- Mantener al sensor fuera de la luz directa del sol
- Cerciorarse de que el sensor Kinect este en un entorno bien ventilado
- No inclinar de forma manual la base del sensor ya que podrían ocasionar daños que pueden ser irreparables [88].

# c) Instalación

Luego de haber detallado cada uno de los requisitos y recomendaciones para instalar el sensor Kinect, se procede a conectar el Kinect v2 al ordenador mediante la ayuda de un adaptador para Windows como se muestra en la Figura 17, a continuación se dan a conocer los pasos a seguir.

- 1. Conecte la fuente de alimentación del sensor Kinect a un toma corriente.
- 2. Introduce el conector del otro extremo de la fuente de alimentación en el canal del Kinect.
- 3. Conecte el cable del sensor Kinect en el otro canal del adaptador Kinect.
- 4. Introduce el cable USB en el canal del adaptador Kinect.
- 5. Por último se conecta el otro extremo del cable USB a un puerto USB 3.0 dedicado que se encuentre disponible en el ordenador [89].

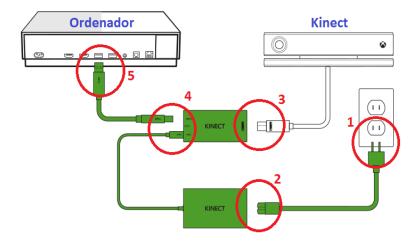


Figura 17. Pasos para instalar correctamente el sensor Kinect **Fuente:** [89]

Conexión del sensor Kinect v2.0 con el adaptador de Kinect para Windows, a su vez la conexión del cable USB 3.0 al ordenador. Si se encuentra correctamente conectado se enciende una luz blanca en el adaptador de Kinect, caso contrario se encuentra en luz amarilla como se muestra en la Figura 18.

# Incorrecto



Figura 18. Conexión correcta e incorrecta del sistema **Fuente:** Autor

# 2.1.2 Instalación del software Processing

Para el desarrollo de este sistema se utiliza un software muy flexible como es Processing, el cual trabaja en un entorno de desarrollo integrado de código abierto basado en el lenguaje Java. Processing al contar con más funciones de desarrollo en sus últimas versiones es óptimo para el desarrollo de este proyecto ya que permite el manejo de todas las funciones del sensor Kinect mediante su librería "Kinect v2 for Processing", además cuenta con muchas más librerías óptimas para el desarrollo de nuestra interfaz y lectura de datos de los movimientos de las manos.

Se va a describir de la manera más sencilla la instalación de Processing en su versión v.3.3.7, teniendo en cuenta que al ser un programa ejecutable no necesita de pasos previos para su instalación [90].

• Para descargar el software nos dirigimos a la dirección "https://processing.org/download/support.html". Luego hacer click en el sistema operativo requerido para su ordenador.

Luego de descargar el software del sistema operativo requerido por el programador, se procede abrir la carpeta, la cual es descomprimida para ejecutar el programa Processing. En la Figura 19 se muestra la pantalla de inicio de Processing, donde se empieza a desarrollar el sistema.



Figura 19. Ventana de inicio del software Processing. **Fuente:** [90].

# 2.2 Calibración

Para que el sistema cuente con un buen funcionamiento se debe tomar en consideración una serie de parámetros que intervienen en el entorno de trabajo del sensor Kinect y del paciente. Dentro del ambiente de trabajo como principal factor tenemos la iluminación, por otro lado parámetros como altura, distancia del sensor hacia el paciente la cual se encuentra directamente relacionados con el Kinect. Además de todos estos factores que intervienen en el ambiente de trabajo se debe analizar la posición en que el paciente se debe encontrar al momento de realizar las pruebas ya que sus manos deben ser detectadas y a su vez sus dedos deben alinearse dentro del rectángulo de evaluación. A continuación se describen los argumentos necesarios para cada uno de estos factores:

# 2.2.1 Condiciones del ambiente de trabajo

En esta sección las condiciones de iluminación del área de pruebas de los pacientes son las que destacan principalmente. La luz directa al sensor puede modificar considerablemente los datos obtenidos con la cámara RGB del Kinect, esto provocaría un desajuste en el sistema respecto a la valoración de los colores de la marca con la que cuenta el paciente en su dedo índice, obteniéndose datos erróneos resultantes de un inadecuado ambiente de trabajo.

Para lograr obtener un ambiente idóneo se dispuso que donde se encuentre ubicado el sensor la iluminación proveniente de la parte trasera y lateral debe ser regulada, como se aprecia en la Figura 20. Además se debe asegurar de que la sala cuente con suficiente iluminación para que el paciente sea claramente identificado. En la Figura 21 se aprecia la forma incorrecta en que la luz solar debe llegue al sensor y al paciente [91].



Figura 20. Iluminación correcta del sensor Kinect. **Fuente:** [91].



Figura 21. Iluminación incorrecta del sensor Kinect. **Fuente:** [91].

### 2.2.2 Altura del sensor Kinect

Luego de haber descrito los argumentos necesarios para el escenario de pruebas, se definen los parámetros que intervienen en el funcionamiento del sistema como es la altura, ángulo de inclinación y la distancia que existe entre el sensor y el paciente. Es este aparatado nos enfocaremos únicamente en la altura que existe desde el suelo hasta el sensor Kinect siendo tal que el objetivo a identificar debe ser visualizado desde el tronco hasta la cabeza para las pruebas del movimiento alternante de las manos en cambio para la actividad del golpeteo de los dedos su visualización se aprecia a partir de las extremidades superiores. Es importante calibrar este parámetro ya que con la ubicación precisa del sensor se obtuviera una lectura correcta de las manos a través de su cámara RGB.

En base a las pruebas realizadas se considera que la altura correcta a la cual debe encontrarse el sensor es a 0.82 metros desde el suelo siendo de ayuda un trípode que estabiliza la posición del sensor Kinect a la altura requerida como se muestra en la Figura 22.



Figura 22. Altura del sensor Kinect con ayuda de un trípode. **Fuente:** Autor.

## 2.2.3 Distancia entre el sensor Kinect - paciente

Como medida de prevención a tomar en cuenta en este parámetro no debe existir ningún objeto que obstaculice directamente el ángulo de vista entre el sensor y el paciente debido a que puede verse afectada la información obtenida con la cámara de profundidad y la cámara RGB. Al encontrarse el escenario de trabajo acto para la realización de las pruebas se procede a realizar una serie de experimentos con el fin de obtener la distancia idónea que beneficie la obtención del área de interés en los movimientos ejecutados por el paciente, teniendo en cuenta que para cada actividad su distancia variara por motivos de que para la actividad del golpeteo de los dedos se requiere una seguimiento más minucioso de los movimientos realizados. Luego de haber realizado una serie de pruebas con respecto a la distancia del sensor con el paciente se determinó que la más apropiada a la cual deben estar separados es de entre 1.20 a 2 metros para la actividad de los movimientos alternantes de las manos, para el caso de la actividad de los golpeteo de los dedos se determinó que la distancia debe oscilar entre 0.74 a 1 metro (ver Figura 23) debido a que se requiere una mayor captación de los datos debido a la marca utilizada en el dedo índice.

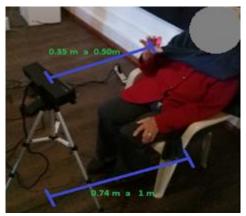


Figura 23. Distancia entre el paciente y el sensor Kinect.

Fuente: Autor.

#### 2.2.4 Posición del Paciente

Luego de haber dado a conocer los argumentos necesarios para la correcta instalación del Kinect dentro del escenario de pruebas nos enfocamos en la ubicación que debe encontrarse el paciente para la realización de las actividades, para ello el paciente debe estar sentado sobre una silla de aproximadamente 0.45 metros medida desde el suelo hasta la base de descanso. El paciente debe encontrarse sentado al ejecutar la actividad del golpeteo de los dedos ya que debe situarse a una distancia no muy lejana para analizar su región de interés siendo está muy pequeña, por ello tanto por comodidad como por la obtención de mejores resultados el paciente debe encontrarse sentado como se aprecia en la Figura 24.



Figura 24. Posición del paciente al realizar las pruebas. **Fuente:** Autor.

# 2.3 Interfaz gráfica del sistema

Para el desarrollo de la interfaz gráfica se utilizó la librería ControlP5 de Processing, la cual permite el manejo de varios elementos de diseño como son botones, texto, etiquetas e inserción de imágenes en los sketches. Se instaló en el ordenador todos los programas, teniendo en cuenta que para ser utilizado en otro ordenador debe contar con los requisitos necesarios de software para el manejo del sistema.

El objetivo de esta interfaz es para que el doctor interprete de forma más interactiva los resultados obtenidos de cada sección realizada al paciente, siendo estas visualizadas mediante gráficas y tablas que indican el tiempo que ha demorado el paciente en cambiar de estado las manos o dedos.

# 2.3.1 Características y Algoritmos

Lo primordial a considerar dentro de un sistema es la seguridad, en el cual deben tener acceso a la base de datos solo personas que se encuentren autentificadas correctamente. La validación se la realiza mediante el ingreso de un usuario y contraseña que deben encontrarse registrados en la base de datos. De ser correcto el ingreso se visualizará un menú donde podrá registrar un nuevo paciente, ver su historial o realizar una nueva actividad. En caso de no existir el usuario se dirigirá al botón registrarse donde se deberá llenar todos los casilleros que se muestran, todo este proceso se describe en el diagrama de flujo de la Figura 25.

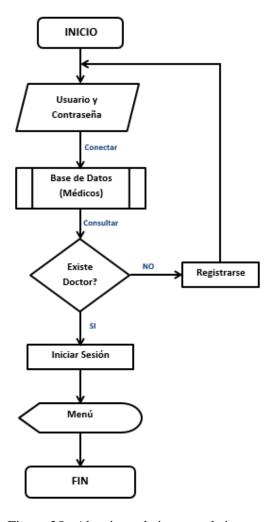


Figura 25. Algoritmo de ingreso al sistema. **Fuente:** Autor

Al no encontrarse registrado el doctor se realiza el proceso de registro en el cual se ingresan los siguientes datos; nombre, apellido, cedula, contraseña y la confirmación de la contraseña. Al seleccionar la opción de registrar, la interfaz se comunica con la base de datos verificando si el doctor existe, en caso de no existir registra satisfactoriamente al doctor en la tabla "médicos" de la base de datos. En el siguiente diagrama de flujo de la Figura 26 podemos apreciar el proceso implementado en el sistema.

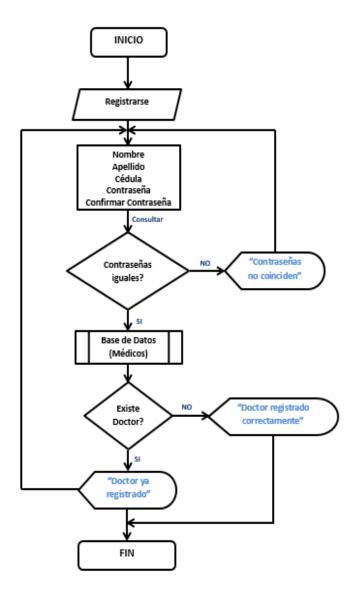


Figura 26. Proceso de registro del Doctor. **Fuente:** Autor

Luego de haberse autentificado correctamente el doctor, ingresa a la sección menú donde procede a realizar el registro de los pacientes a evaluar, para ello se dirige a la opción "registrar paciente" en el cual se debe llenar varios casilleros como nombre, apellido, cédula, años del paciente, sexo, medicamento, años con la enfermedad y el grado en que se encuentra el paciente de acuerdo a la escala UPDRS. En el diagrama de flujo de la Figura 27 se muestra el algoritmo implementado para el registro de los pacientes los cuales se guardan se registran en la tabla "pacientes" de la base de datos.

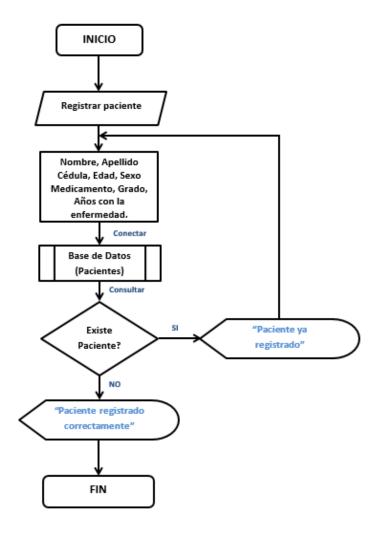


Figura 27. Proceso de registro del Paciente.

Fuente: Autor

El último bucle realizado es el historial del paciente, donde se almacenan todos los datos de las diferentes actividades realizadas, siendo guardadas en tablas en función de cada tarea en la base de datos. Para la búsqueda del historial se debe ingresar el número de cédula como requisito necesario para la visualización de todos los historiales. Dentro de esta sección podremos observar las gráficas y datos de los tiempos de cada actividad, de acuerdo a la fecha que se evaluó al paciente. El proceso implementado se muestra en la diagrama de la Figura 28.

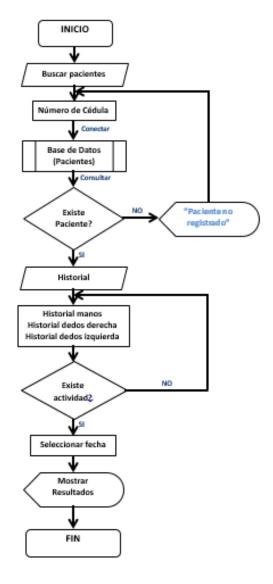


Figura 28. Proceso de búsqueda de los Pacientes. **Fuente:** Autor

# 2.3.2 Base de datos y Lenguaje de desarrollo

Para la gestión de la base de datos se hizo uso de MySQL ya que al ser muy reconocida a nivel mundial cuenta con bastante información acerca de su manejo e implementación. Una de las ventajas es su fácil migración con otros sistemas, permitiéndole al programador un manejo más sencillo de los datos. Este gestor es muy sutil por lo que puede ser aprovechado para grandes proyectos investigativos debido a su bajo consumo de recursos, además cuenta con herramientas muy beneficiosas que le dan seguridad, confianza y un gran rendimiento al sistema.

Para la conexión de la base de datos (MySQL) se utilizó el lenguaje PHP mediante el servidor XAMPP para Windows. Se utilizó en la versión 3.2.2 en el cual se encuentra incluido Apache, MySQL y PHP. En la Figura 29 se muestra la ventana principal del archivo ejecutable del servidor XAMPP.

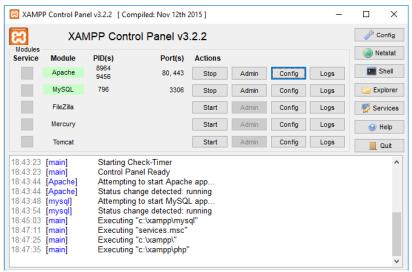


Figura 29. Ventana principal del servidor XAMPP.

Fuente: Autor

La gestión del servidor XAMPP se realiza mediante phpMyAdmin, el cual permite la creación de listas para la respectiva autentificación del doctor al entrar al sistema, así como la del paciente al buscar su historial. Por ello se creó una base de datos llamada "Parkinson", donde se crean tablas con los nombres de "Médicos", "Pacientes", "manos", "dedos derecha" y "dedos izquierda", a su vez estas tablas son llenadas de acuerdo a los parámetros que se requieran.

Para la tabla "médicos" se crean 5 parámetros. El primer parámetro hace referencia al número ID con autoincremento, designado con el nombre de "ID"; el segundo parámetro se denomina "nombre", es de tipo texto con formato latin1\_swedish\_ci; el tercer parámetro hace referencia al "apellido", siendo creado en tipo texto; el cuarto parámetro es de tipo varchar, denominado "cedula"; y por último el quinto parámetro es la casilla que guarda la clave de acceso del doctor, identificándose como "password", es de tipo varchar. En la Figura 30 se ilustra los parámetros creados para la tabla "médicos".

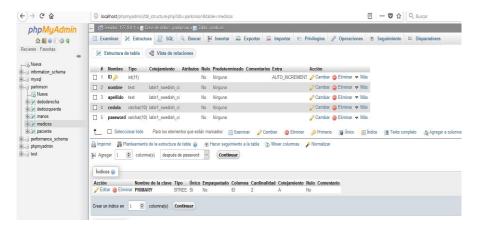


Figura 30. Creación de la tabla "médico". **Fuente:** Autor

En el caso de la tabla "paciente" se crean 9 parámetros siendo los 4 primeros similares a los creados en la tabla "médicos", por lo que únicamente nos enfocaremos en los

siguientes parámetros; el quinto se denomina "edad", siendo este de tipo entero; el sexto parámetro es nombrado como "sexo" siendo de tipo texto al igual que el séptimo identificado como "gradoe", este parámetro hace referencia a la etapa de la enfermedad; el octavo parámetro al igual que el quinto es de tipo numérico, siendo nombrado como "anios"; y por ultimo tenemos el parámetro identificado como "medicamentos", el cual es de tipo varchar, indicándonos que medicamentos ingiere el paciente. Los parámetros creados en la tabla "paciente" se ilustran en la Figura 31.

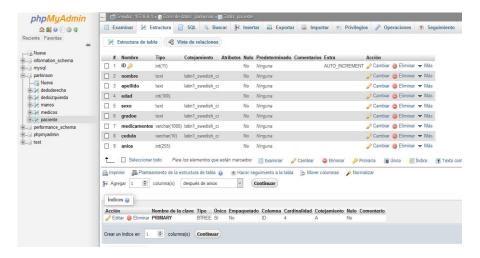


Figura 31. Creación de la tabla "paciente". **Fuente:** Autor

Por último para el almacenamiento de los datos se creó una tabla denominada "pruebas" donde se almacena toda la información de cada prueba realizada en base a la actividad seleccionada. Dentro de esta tabla se encuentran 13 columnas como se ilustra en la Figura 32.



Figura 32. Creación de la tabla "pruebas".

Fuente: Autor

Los datos se almacenan en base a la información del paciente; como es su número de cedula, la fecha de registro de cuando fue realizada la actividad e indicando si el paciente estuvo medicado o no. Luego de ello intervienen los campos de cada

actividad, en total son 8: mano derecha abierta - cerrada, mano izquierda abierta - cerrada, dedos derecha abiertos – cerrados y dedos izquierda abiertos – cerrados. Las Figuras 33, 34 y 35 ayudan a corroborar lo antes mencionado.

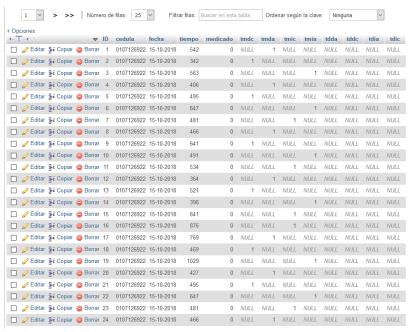


Figura 33. Base de datos de la mano derecha e izquierda **Fuente:** Autor

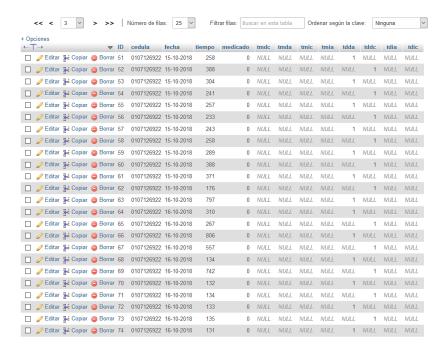


Figura 34. Base de datos de los dedos mano derecha abiertos - cerrados **Fuente:** Autor

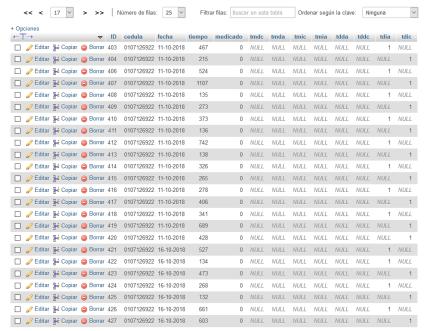


Figura 35. Base de datos de los dedos mano izquierda abiertos - cerrados **Fuente:** Autor

# 2.3.3 Plataforma de navegación del sistema

La plataforma de navegación del sistema permite al doctor tener una mayor comodidad y manejo en el diagnóstico del paciente, debido a que cuenta con funciones que ayudan a conseguir un análisis con la misma o mayor presión que de la forma habitual de evaluación. El sistema propuesto se denomina LeePark, su nombre viene dado de la combinación de la palabra Lee y la palabra Parkinson.

# Página de Inicio

La ventana principal es la que aparece en primera instancia cuando el doctor ingresa a la plataforma. Le permite al doctor iniciar sesión con su número de cedula y una contraseña. Además cuenta con dos opciones donde puede registrarse en caso de ser nuevo doctor o para hacer una revisión de cómo se deben elaborar las actividades correctamente. Los puntos mencionados se aprecian en la Figura 36.



Figura 36. Página de inicio del sistema **Fuente:** Autor

En la ventana principal, al escoger el botón "registrarse" nos aparece una ventana que da la posibilidad de registro a un nuevo doctor, llenando los campos de nombre, apellido, cedula, contraseña y la confirmación de la contraseña; estos campos se muestran en la Figura 37. Luego al dar clic en registrar aparece un mensaje indicando que se ha registrado correctamente el doctor caso contrario doctor ya registrado.



Figura 37. Registro del doctor **Fuente:** Autor

En la misma ventana de inicio se encuentra la opción "acerca", donde al dar a clic nos aparece un breve manual gráfico de cómo realizar las respectivas pruebas de cada actividad. El manual de las actividades se puede ver en la Figura 38.

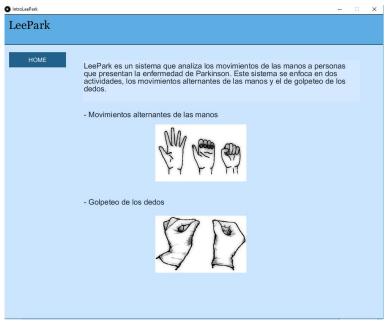


Figura 38. Manual de las actividades **Fuente:** Autor

# Menú Principal

Luego de haber iniciado sesión el doctor, aparece la ventana de menú principal donde se muestran todas las funciones con las que cuenta el sistema ya sea para registrar un nuevo paciente, realizar las respectivas actividades de las manos o para la búsqueda de los pacientes que han sido evaluados con el sistema. Las opciones mencionadas pueden apreciarse en la Figura 39.



Figura 39. Menú principal **Fuente:** Autor

En la ventana menú principal si el doctor selecciona la opción "registrar paciente", se visualiza una nueva ventana que permite al doctor registrar un nuevo paciente donde debe llenar los siguientes campos: nombre, apellido, cedula, edad, sexo, medicamente, años que tiene la enfermedad, grado de la enfermedad; como se muestra en la Figura 40.



Figura 40. Registro de un paciente **Fuente:** Autor

Dentro de la misma ventana del menú principal, al seleccionar 'ingresar actividad' se muestra una ventana que cuenta con tres opciones; manos, dedos derecha y dedos izquierda. Las opciones mencionadas se muestran en la Figura 41.

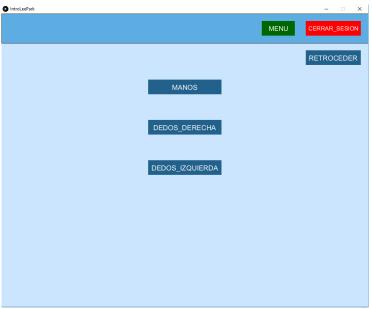


Figura 41. Ingreso de actividad **Fuente:** Autor

Por último tenemos la opción 'mis pacientes', donde al dar clic en esa opción nos aparece como primera instancia una ventana que indica al doctor, el ingreso del número de cedula de un paciente, como se muestra en la Figura 42. Al encontrarse registrado en la base de datos el paciente, aparecen sus datos los cuales pueden ser editados, a su vez aparece una nueva opción 'historial' donde se pueden visualizar sus resultados.



Figura 42. Búsqueda de los pacientes **Fuente:** Autor

# 2.4 Especificación de los parámetros a medir con el Kinect

De acuerdo a las actividades a estudiar se recomienda extraer los parámetros necesarios para obtener la información útil de cada movimiento, dentro de las actividades que se desarrollarán en el sistema tenemos las siguientes:

#### 2.4.1 Movimientos alternantes de las manos

Dentro de esta actividad se realizan los movimientos de apertura y cerrado de las manos donde se requiere contabilizar el número de repeticiones realizadas por el paciente, siendo ejecutadas en rápidas sucesiones y lo más ampliamente posible en un tiempo asignado por el médico especialista. Mediante el análisis de los movimientos alternantes de las manos se pretende obtener el estado en que se encuentra el paciente y a su vez obtener la velocidad promedio con la que es ejecutada cada actividad teniendo en consideración si el paciente ha sido medicado o no.

La metodología implementada en esta actividad consiste en el uso de las características propias de la librería KinectPv2 de Processing, la cual cuenta con funcionalidades basadas en el reconocimiento del esqueleto y los puntos referenciales. Esta librería en concreto posee la capacidad de detectar el cambio de estado de la mano (abrir y cerrar) de una persona que se encuentre dentro del rango de medición. El estado de las manos son representadas mediante una circunferencia, en el cual si la mano se encuentra en estado cerrado la circunferencia se encuentra de color rojo en cambio cuando las manos se encuentran abiertas la circunferencia se torna de color verde, sin embargo cuando estas no se encuentran en posición correcta la circunferencia se torna de color blanco indicando

que están mal ubicadas las manos. La identificación correcta de las manos se muestra en la Figura 43.

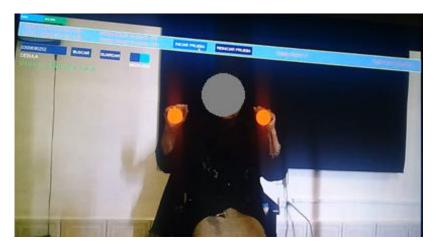


Figura 43. Reconocimiento del estado de la mano mediante la librería KinectPv2. **Fuente:** Autor.

El doctor debe ingresar previamente el número de cedula del paciente e indicar si este se encuentra medicado o no, luego para dar inicio a las pruebas debe seleccionar la opción "iniciar prueba", sin embargo en caso de que las pruebas no hayan sido bien realizadas tiene la opción de reiniciar y volver a evaluar nuevamente al paciente.

En la parte superior de la ventana se encuentra dos opciones, una de prueba y la otra de visualización de resultados, por lo que el medico está al tanto si las pruebas son correctamente realizadas, debajo de estas opciones se observa el tiempo real en que la persona cambia de estado las manos.

## 2.4.2 Golpeteo de los dedos

Para la actividad del golpeteo de los dedos es necesario que se contabilice el número de repeticiones que el paciente golpea el dedo índice con el pulgar, siendo realizadas en rápidas sucesiones y lo más ampliamente posible en un tiempo definido por el médico. Mediante el análisis del golpeteo de los dedos se pretende reforzar aún más el diagnostico obtenido con la actividad anterior para que de esa manera el Doctor pueda dar una valoración final del paciente y sea de apoyo para su sistema de evaluación con la escala UPDRS. Se obtendrán datos tanto cuando el paciente se encuentre medicado o no.

Para esta actividad es necesario un reconocimiento previo del color ubicado en el dedal, para ello se utiliza una lámina del mismo color del dedal que es ubicado dentro del rectángulo para que el color sea validado. Para seleccionar el color el doctor debe presionar el número 1 en el teclado y luego dar un clic en la lámina para que el color sea identificado correctamente, como se aprecia en la Figura 44.

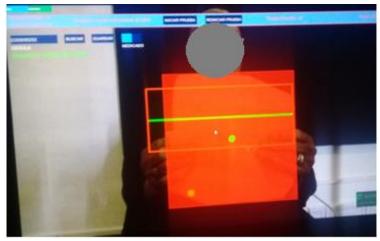


Figura 44. Reconocimiento del color **Fuente:** Autor

En la parte intermedia de la ventana se aprecia un rectángulo dividido en dos segmentos por una línea verde, el paciente debe acercar los dedos dentro del rectángulo donde el dedo índice se ubica en la parte superior del rectángulo y el dedo pulgar en la parte inferior.

El proceso metodológico utilizado en esta actividad consiste en que se le asigna al paciente una marca en forma de dedal ubicado en el dedo índice como se ilustra en la Figura 45. La librería OpenCV se encarga de extraer el tipo de color utilizado en el dedal, haciendo referencia al modo de color HSB (tono, saturación y brillo) el cual es identificado como una ROI (región de interés); para la detección del dedo pulgar se trabajó con las características propias de la librería KinectPv2, pudiendo de esta manera determinar cuando el ROI del dedo índice toca al dedo pulgar.



Figura 45. Colocación apropiada del dedal en el dedo índice **Fuente:** Autor.

# 2.4.3 Función de seguimiento de la mano

El desarrollo del seguimiento de las manos es uno de los métodos con mayor importancia para el funcionamiento del sistema, debido a que debe darse en pacientes que presentan la enfermedad de Parkinson, cuyos pacientes en la mayoría de los casos cuentan con síntomas muy comunes como es el caso de los temblores en las manos, pudiendo desplazar a las manos fuera del área de pruebas que engloba el Kinect.

Por motivo de este problema es necesario la utilización de algún algoritmo o librería que sea capaz de dar seguimiento a las manos del paciente dentro del ángulo de prueba del sensor Kinect, pudiendo de esta forma rastrear el cambio de ubicación de las manos. Para ello la librería KinectPv2 existente en Processing es la encargada del seguimiento de Joints (puntos referenciales en modo de esqueleto que muestra el sensor Kinect a lo largo del cuerpo de la persona) como se ilustra en la Figura 46.

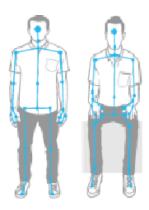


Figura 46. Joints referenciales del esqueleto mediante la librería KinectPv2 observado en el sensor Kinect.

Fuente: Autor.

El motivo de usar Joints es debido a la necesidad de dar seguimiento a las manos de los pacientes ya sea esta izquierda o derecha, dicho desarrollo es esencial para el funcionamiento del sistema. Para este proyecto se debe tomar en consideración como primer punto el reconocimiento de todos los Joints del paciente que son registrados por el sensor Kinect mediante su cámara 3D. Luego de ser detectados todos los Joints del paciente o por lo menos los pertenecientes a la parte superior de las extremidades, nos enfocamos únicamente en los Joints de la mano derecha e izquierda, los cuales se usarán para la ejecución de los movimientos. Para la correcta identificación de los Joints existen marcas ya establecidas dentro de la librería KinectPv2, las cuales son asignadas de la siguiente manera, para la mano derecha es hand\_right y para la mano izquierda es hand left como se muestra en la Figura 47.

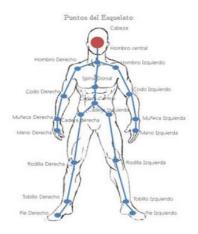


Figura 47. Marcas referenciales de los Joints facilitados con la librería KinectPv2. **Fuente: Fuente:** [79].

# 2.5 Datos de los pacientes

Para el registro de los pacientes en el sistema es necesario de los datos personales y de las características que posee la enfermedad de Parkinson en el paciente.

Para la validación del sistema se evaluaron a 6 pacientes de la Universidad del Adulto Mayor (UAM), de los cuales dos son pacientes sanos y cuatro padecían de la Enfermedad de Parkinson. Los pacientes evaluados se encuentran en un rango de edad de entre los 60 a 89 años, encontrándose cada uno en etapas similares de acuerdo a la escala UPDRS.

Para el desarrollo de las actividades los pacientes fueron instruidos en cada sesión, obteniendo de esta manera mejores datos. En la tabla 5 se dan a conocer las características de los pacientes en base a su edad, sexo y grado de la enfermedad.

Tabla 5. Datos de los pacientes evaluados.

Pacientes con la Enfermedad de Parkinson				
Paciente	Edad	Estado	sexo	Grado Enfermedad
Paciente 1	82	Enfermo	Masculino	3
Paciente 2	72	Enfermo	Femenino	3
Paciente 3	83	Enfermo	Femenino	2
Paciente 4	87	Enfermo	Masculino	1
Paciente 5	89	Sano	Femenino	-
Paciente 6	62	Sano	Femenino	-

# **CAPITULO 3: Resultados**

Una vez obtenido los datos de cada actividad se procedieron a visualizar de forma gráfica los valores, ahora en esta sección se dan a conocer los resultados de las dos actividades realizadas por los pacientes, logrando comparar los resultados de cuando el paciente está o no medicado en base a la velocidad promedio obtenida en cada sección. Además, se analiza los valores de los pacientes enfermos con relación a los sanos. El objetivo de analizar los resultados es verificar que los valores obtenidos de los pacientes con EP son consistentes al ser estos comparados con los datos de personas sanas.

La evaluación de cada actividad se encuentra regulada para que tenga una duración de 11 segundos en este sistema. Se realizaron aproximadamente 6 sesiones de cada actividad por paciente, las cuales son almacenados en base a la fecha de registro de cada prueba.

En esta sección se muestran los resultados de los pacientes 1, 3, 4 y 5 donde son comparadas sus graficas respecto a la actividad de movimientos alternantes de las manos, en cambio los pacientes 2, 4 y 6 hacen referencia a la actividad de golpeteo de los dedos.

Los resultados obtenidos de la velocidad promedio del paciente 1 se muestran en la Figura 48, donde se observa que cuando el paciente se encuentra en estado medicado su velocidad tiende a ser relativamente superior que cuando no está medicado, resaltando que en la tercera y cuarta sesión los valores obtenidos son muy similares. En la Figura 49 se aprecia una disminución de la velocidad en la mano derecha con respecto a la velocidad de la mano izquierda, existiendo una mayor afección en esa extremidad.

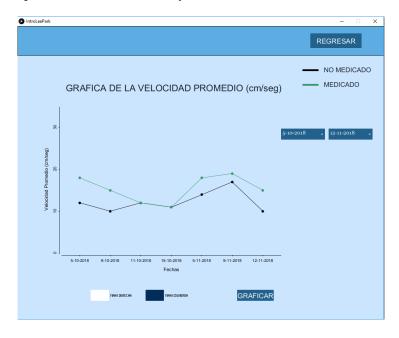


Figura 48. Gráfica de la velocidad promedio del paciente 1, mano derecha **Fuente:** Autor

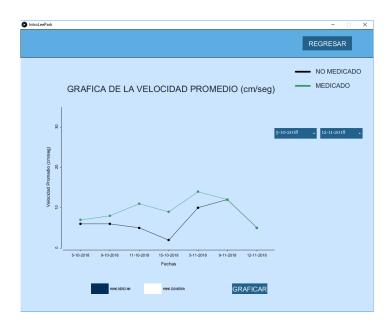


Figura 49. Gráfica de la velocidad promedio del paciente 1, mano izquierda **Fuente:** Autor

Los resultados obtenidos para el paciente 2 al realizar la actividad de golpeteo de los dedos tanto de la mano izquierda como de la mano derecha se aprecian en las figuras 50 y 51. La velocidad promedio en ambos casos se mantiene muy lineal existiendo una pequeña diferencia de velocidad entre las gráficas de medicado y no medicado.

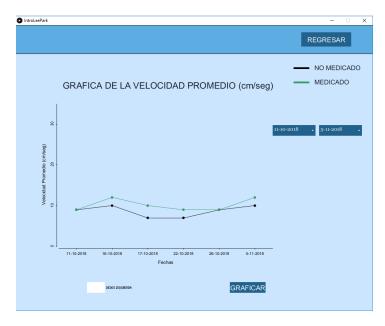


Figura 50. Gráfica de la velocidad promedio del paciente 2, golpeteo de los dedos mano izquierda.

Fuente: Autor

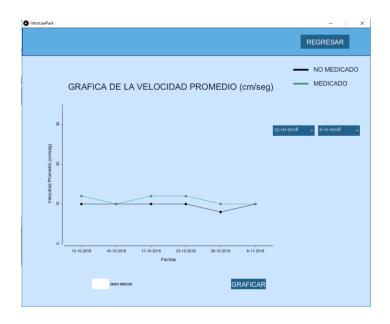


Figura 51. Gráfica de la velocidad promedio del paciente 2, golpeteo de los dedos mano derecha

Fuente: Autor

Los resultados obtenidos del paciente 3 se muestran en las Figuras 52 y 53, estos hacen referencia a la actividad de movimientos alternantes de las manos. La velocidad promedio obtenida es similar en ambas manos, por lo que no existe una pronunciación mayor de la enfermedad en ninguna extremidad superior, al comparar estos resultados con los del paciente 1 se observa que existe una mayor estabilidad en el paciente 3.



Figura 52. Gráfica de la velocidad promedio del paciente 3, mano derecha **Fuente:** Autor.



Figura 53. Gráfica de la velocidad promedio del paciente 3, mano izquierda **Fuente:** Autor

Los resultados obtenidos en la sesión 6 del paciente 4 se muestran en la Figura 54, donde se observa el tiempo de ejecución del estado de las manos (abierto – cerrado), con esta evaluación se obtiene el número de repeticiones que ha realizado el paciente en base al tiempo total que dura la prueba. En la Figura 55 se muestra el resultado total obtenido de todas las sesiones realizadas del paciente 4 respecto a su mano derecha. Por último en la Figura 56 se observa que en la actividad golpeteo de los dedos de la mano izquierda su velocidad es superior respecto a la del paciente 2.



Figura 54. Datos obtenidos del paciente 4 en la sesión 5 **Fuente:** Autor

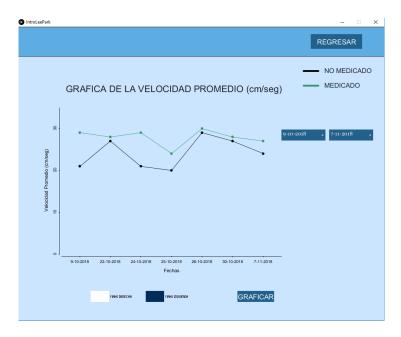


Figura 55. Gráfica de la velocidad promedio de las sesiones realizadas del paciente 4, mano derecha.

Fuente: Autor



Figura 56. Gráfica de la velocidad promedio del paciente 4, golpeteo de los dedos mano izquierda.

Fuente: Autor

Para el paciente 5 los resultados obtenidos de la actividad manos alternantes se muestran en las Figuras 57 y 58. Este al encontrarse sano los valores de velocidad se encuentran por encima de los pacientes enfermos 1,2 y 3, en cambio con el paciente 4 sus resultados son similares debido a que este se encuentra en la primera etapa de la EP por lo que sus síntomas no son notorios.



Figura 57. Gráfica de la velocidad promedio del paciente 5, mano derecha. **Fuente:** Autor

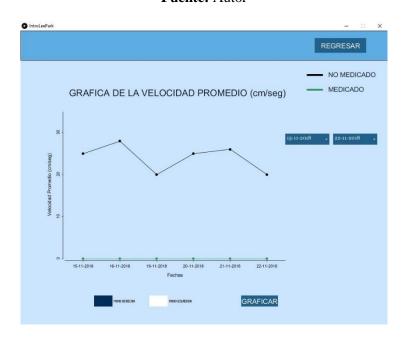


Figura 58. Gráfica de la velocidad promedio del paciente 5, mano izquierda. **Fuente:** Autor

Por último los resultados obtenidos del paciente 6 de acuerdo a la actividad de golpeteo de los dedos de ambas extremidades superiores se observan en las Figuras 59 y 60. La velocidad obtenida es similar a la del paciente 5 en ambas actividades, por lo que al ser compara con los de los pacientes enfermos se obtienen resultados similares.

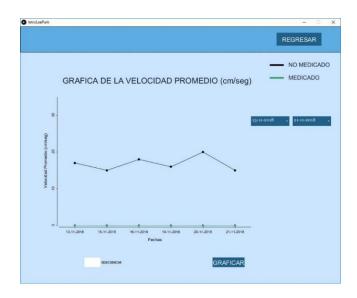


Figura 59. Gráfica de la velocidad promedio del paciente 6, golpeteo de los dedos mano derecha.

Fuente: Autor

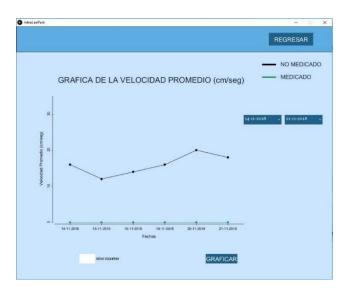


Figura 60. Gráfica de la velocidad promedio del paciente 6, golpeteo de los dedos mano izquierda.

Fuente: Autor

Los resultados de la velocidad promedio obtenidas del paciente 4 comparadas con la del paciente 1 muestran que existe un cambio considerable ya que el paciente 1 el rango de su velocidad se encuentra entre 11-19 cm/seg cuando esta medicado y cuando no estaba medicado entre 11-17 cm/seg; en cambio para el paciente 4 su rango esta entre los 27-30 cm/seg cuando esta medicado y cuando no está medicado esta entre los 21-26 cm/seg. Esta variación se da debido al grado y avance de la enfermedad en el paciente, porque la EP tiende a hacerse presente y afectar de distintas formas a cada persona. Sin embargo en este caso el paciente 1 presenta un avance de la enfermedad superior al del paciente 4 por lo que los resultados obtenidos muestran esta diferencia en base a la velocidad en que ejecutan las actividades.

Comparando los resultados del paciente 2 con la del paciente 6 respecto a la actividad de golpeteo de los dedos se obtiene que la velocidad del paciente 2 es inferior debido a que

padece de la EP y al encontrarse en una etapa avanzada sus síntomas son muy visibles por lo que sus movimientos se ralentizan ocasionándole problemas al ejecutar las actividades.

El paciente sano 5 cuenta con una velocidad promedio de 27 cm/seg comparada con la de los pacientes 1 y 3 se observa un avance notorio de la enfermedad de Parkinson en estos pacientes, con el sistema propuesto podemos diagnosticar el estado y reforzar el diagnostico final del doctor al evaluar mediante la escala UPDRS. Es importante resaltar que los resultados obtenidos de los pacientes sanos pueden variar debido a factores como diferencias de edades, otras afecciones, etc.

#### 3.1 Resultados de los Movimientos alternantes de las manos

Como se indicó anteriormente en el apartado 2.5, se trabajó con 4 personas con EP y 2 personas sanas, las cuales fueron instruidas en cada sesión indicándoles las debidas observaciones al realizar esta actividad.

La persona debe realizar la actividad de forma sentada, siendo visible en su totalidad la parte superior del cuerpo. El paciente debe realizar en un lapso de 11 segundos la actividad, donde se contabiliza el número de repeticiones total y la velocidad promedio obtenida cuando este está medicado y no medicado para luego ser comparados.

En la tabla 6, se da a conocer la valoración del paciente 1 que se encuentra en la tercera etapa de la enfermedad de Parkinson obteniendo los siguientes resultados: para a la mano derecha cuando esta medicado se obtiene una velocidad promedio de 16 cm/seg y cuando no está medicado se obtiene una velocidad de 13 cm/seg; por otro lado para la mano izquierda la cual es notoriamente las más afectada a simple vista, cuando esta medicado tiene una velocidad de 10 cm/seg y cuando no está medicado se obtiene un promedio de 7 cm/seg. Se observa que la enfermedad ha afectado a la extremidad superior izquierda más que la derecha provocando que casi no pueda abrir su mano en su totalidad.

**Tabla 6.** Valoración de los Movimientos Alternantes de las manos del paciente 1

Mov	Movimientos Alternantes de las Manos – Paciente 1				
	Mano Derecha		Mano Izquierda		
Sesión	No Medicado	Medicado	No Medicado	Medicado	
1	12	18	6	7	
2	10	15	6	8	
3	12	12	5	11	
4	11	11	2	9	
5	14	18	10	14	
6	17	19	12	12	

Para el paciente 2 la valoración que se obtuvo se da a conocer en la tabla 7, en la mano derecha cuando esta medicada cuenta con una velocidad de 11 cm/seg y no medicado tiene una velocidad de 8 cm/seg; cuando la mano izquierda esta medicada tiene una

velocidad de 10 cm/seg y no medicada 7 cm/seg. Para este paciente el progreso de la enfermedad es notorio en ambas manos debido a que además de presentar Parkinson cuenta con artrosis avanzada, ocasionándole dificultades al realizar las pruebas.

**Tabla 7.** Valoración de los Movimientos Alternantes de las manos del paciente 2

Movimientos Alternantes de las Manos – Paciente 2				
Sesión	Mano Derecha		Mano Izquierda	
	No Medicado	Medicado	No Medicado	Medicado
1	8	10	7	9
2	7	9	5	9
3	8	15	8	12
4	8	11	7	10
5	10	10	8	9
6	9	10	9	10

En la tabla 8 se muestra la valoración obtenida del paciente 3 en base a la velocidad promedio del ciclo (apertura y cerrado de la manos), para la mano derecha se obtuvo un valor de 13 cm/seg y en no medicado 10 cm/seg, en la mano izquierda se obtiene una valoración similar a la de la mano derecha.

Tabla 8. Valoración de los Movimientos Alternantes de las manos del paciente 3

Mov	Movimientos Alternantes de las Manos – Paciente 3				
	Mano Derecha		Mano Izquierda		
Sesión	No Medicado	Medicado	No Medicado	Medicado	
1	8	10	8	8	
2	9	16	9	16	
3	8	12	9	12	
4	9	14	9	15	
5	10	13	10	13	
6	13	15	12	15	

Los resultados obtenidos del paciente 4 se muestran en la tabla 9 los cuales son muy satisfactorios, claramente indicando que este se encuentra en la etapa más leve del Parkinson, por lo que los valores obtenidos son los siguientes: en la mano derecha se obtiene una velocidad de 26 cm/seg y en no medicado de 24 cm/seg; en la mano izquierda cuando esta medicado una velocidad de 26 cm/seg y no medicado 23 cm/seg. La enfermedad no es dañina en esta etapa por lo que tranquilamente el paciente realiza sus actividades cotidianas sin ningún problema.

Tabla 9. Valoración de los Movimientos Alternantes de las manos del paciente 4

Mov	Movimientos Alternantes de las Manos – Paciente 4					
	Mano Derecha		Mano Izquierda			
Sesión	No Medicado	Medicado	No Medicado	Medicado		
1	21	25	16	25		
2	27	28	22	24		
3	21	26	23	29		
4	20	24	20	24		
5	29	30	29	30		
6	27	24	28	28		

Los resultados obtenidos de los pacientes sanos 5 y 6 se muestran en la tabla 10, los cuales cuentan con una velocidad promedio de 27 (cm/seg) en ambas manos para esta actividad. Los valores obtenidos de los dos pacientes sanos serán comparados con los valores obtenidos de los pacientes que padecen la enfermedad de Parkinson, pudiendo observar la diferencia de velocidades que se presentan.

**Tabla 10.** Movimientos Alternantes de las manos, velocidad promedio (cm/seg) de los pacientes sanos 5 y 6.

	Movimientos Alternantes de las Manos				
	Paciente 5		Paciente 6		
Sesión	Mano Derecha	Mano Izquierda	Mano Derecha	Mano Izquierda	
1	25	25	21	20	
2	28	28	24	22	
3	22	20	30	29	
4	29	25	25	25	
5	28	26	24	24	
6	30	20	24	25	

Luego de haber realizado el análisis de los resultados de cada paciente se debe tomar en cuenta que en algunas casos como los pacientes 1 y 2 las manos no son detectadas bien por el sensor debido a que estas no se encuentran separadas adecuadamente una de otra, además al no abrir y cerrar correctamente las manos el sensor no es capaz de detectar el estado en que esta se encuentra por lo que en ambas casos los datos erróneos no son capturados por el sensor, obteniendo de esta forma pocos datos validos en la evaluación. La valoración del paciente 3 indica que el estado del paciente es intermedio, indicando que ambas manos se encuentra regularmente estables y en la misma condición.

En el paciente 1 al culminar las 6 sesiones se observa una leve mejora en la mano izquierda de 8 a 14 cm/seg cuando el paciente se encuentra medicado y cuando no está medicado de 5 a 10 cm/seg. Por otro lado estos resultados al ser comparados con los de los pacientes sanos muestran una gran diferencia de velocidades, logrando determinar que el paciente se encuentra en una etapa severa de la EP.

La velocidad promedio del paciente 4 se encuentra en el rango de los 26 cm/seg siendo similar a la velocidad de los pacientes sanos que está en el rango de los 27 cm/seg. Con los resultados obtenidos se logra determinar que la afección existente de la EP en el paciente 4 es leve.

# 3.2 Resultados del Golpeteo de los dedos

De la misma manera que en la actividad anterior se trabajaron con 6 pacientes de los cuales 2 estaban sanos y el resto padecía de la EP.

Las características a tomar en consideración son similares a la actividad de los movimientos alternantes de las manos, a diferencia que el paciente debe encontrarse a una distancia mucho más cercana para que el dedal ubicado en el dedo pulgar sea reconocido correctamente por el sistema. Los pacientes deben de realizar la actividad en un lapso de 11 segundos donde se contabiliza el número de repeticiones alcanzado para a su vez analizar la velocidad obtenida en cada paciente.

La valoración del paciente 1 se indica en la tabla 11, observando que para los dedos de la mano derecha cuando esta medicado se obtiene una velocidad de 11 cm/seg y cuando no está medicado 7 cm/seg, en cambio para los dedos de la mano izquierda se obtiene una velocidad de 7 cm/seg en medicado y cuando no está 5 cm/seg. La valoración obtenida del golpeteo de los dedos ayuda a corroborar que el daño más pronunciado es en la extremidad superior izquierda, presentándose dificultades al momento de obtener los datos ya que el paciente en ciertos lapsos se salía del recuadro de evaluación debido a la rigidez presente en sus manos.

Tabla 11. Valoración del Golpeteo de los Dedos del paciente 1

	Golpeteo de los dedos - Paciente 1				
~	Mano Dedos Derecha		Mano Dedos Izquierda		
Sesión	No Medicado	Medicado	No Medicado	Medicado	
1	5	7	5	8	
2	5	11	6	7	
3	6	9	5	9	
4	11	15	6	9	
5	7	15	3	6	
6	6	11	5	5	

En la tabla 12 se muestra los datos obtenidos del paciente 2, en lo cual se obtiene una velocidad de 11 cm/seg de los dedos de la mano derecha para cuando el paciente se encuentra medicado y cuando no está medicado una velocidad de 10 cm/seg; para el caso de los dedos de la mano izquierda cuando el paciente se encuentra medicado se obtiene una velocidad de 10 cm/seg y al no estar medicado su valor es de 9 cm/seg. Para el caso de este paciente su velocidad se encuentra en un valor intermedio, observando una mejora comparada con la otra actividad de los movimientos alternantes de las manos.

**Tabla 12.** Valoración del Golpeteo de los Dedos del paciente 2

	Golpeteo de los dedos - Paciente 2				
	Mano Dedos Derecha		Mano Dedos Izquierda		
Sesión	No Medicado	Medicado	No Medicado	Medicado	
1	10	12	9	9	
2	10	10	10	12	
3	10	12	7	10	
4	10	12	7	9	
5	8	10	9	9	
6	10	10	10	12	

Los resultados obtenidos del paciente 3 se visualizan en la tabla 13, en el cual se analiza que la velocidad obtenida en los dedos de la mano derecha cuando el paciente esta medicado es de 13 cm/seg y cuando no está medicado es de 8 cm/seg, por otro lado para el caso de los dedos de la mano izquierda se obtiene una velocidad de 13 cm/seg cuando esta medicado y 9 cm/seg cuando no está medicado. De acuerdo a los porcentajes obtenidos en relación a los pacientes sanos se observa que el paciente 3 se encuentra en un rango superior que los pacientes 1 y 2 obteniendo una velocidad promedio muy satisfactoria pudiendo realizar sin ningún problema sus actividades relacionadas a sus extremidades superiores.

**Tabla 13.** Valoración del Golpeteo de los Dedos del paciente 3

	Golpeteo de los dedos - Paciente 3				
Sesión	Mano Dedos Derecha		Mano Dedos Izquierda		
	No Medicado	Medicado	No Medicado	Medicado	
1	4	12	8	9	
2	5	9	8	13	
3	10	12	7	12	
4	6	14	6	10	
5	11	16	14	16	
6	14	16	11	16	

Mientras tanto los resultados del paciente 4 se muestran en la tabla 14, obteniendo en los dedos de la mano derecha una velocidad de 16 cm/seg cuando esta medicado y cuando no está medicado 13 cm/seg, para la mano izquierda se obtienen los siguientes valores: cuando el paciente esta medicado se obtiene una velocidad de 16.8 cm/seg y cuando no está medicado una velocidad de 16 cm/seg. Este paciente como ya se mencionó anteriormente se encuentra en el grado 1 de la enfermedad por lo que sus valores y rango de velocidad son muy parecidos a los que tienen los pacientes sanos.

Tabla 14. Valoración del Golpeteo de los Dedos del paciente 4

	Golpeteo de los dedos - Paciente 4				
	Mano Dedos Derecha		Mano Dedos Izquierda		
Sesión	No Medicado	Medicado	No Medicado	Medicado	
1	15	18	16	15	
2	9	15	14	17	
3	15	16	18	20	
4	13	17	12	12	
5	13	16	17	16	
6	15	15	19	21	

Los valores obtenidos de los pacientes sanos se muestran en la tabla 15, obteniendo una velocidad promedio en los dedos de 17 (cm/seg). Este valor es obtenido en 6 sesiones realizadas en diferentes fechas, con el cual se analiza la valoración de cada paciente enfermo con EP.

**Tabla 15.** Golpeteo de los dedos, velocidad promedio (cm/seg) de los pacientes sanos 5 y 6.

	Golpeteo de los dedos				
Sesión	Paciente 5		Paciente 6		
	Mano Dedos Derecha	Mano Dedos Izquierda	Mano Dedos Derecha	Mano Dedos Izquierda	
1	14	20	17	16	
2	14	19	15	12	
3	18	20	18	14	
4	16	17	16	16	
5	20	13	20	20	
6	16	16	15	18	

De la misma manera que en la actividad de los movimientos alternantes de las manos se aprecia una gran variación de la velocidad de los pacientes sanos 5 y 6 con un promedio de entre los 2 a 4 cm/seg con respecto a los pacientes 1, 2 y 3. En cambio respecto al paciente 4 existe una leve diferencia de velocidades ya que este está en el rango de los 16 cm/seg cuando esta medicado y cuando no está medicado de 13 cm/seg, obteniendo resultados muy parecidos a los de los pacientes sanos.

Los resultados obtenidos del paciente 3 en la actividad de golpeteo de los dedos muestran que su velocidad promedio es muy parecida en ambas extremidades encontrándose en el rango de los 13 cm/seg cuando el paciente esta medicado y cuando no está medicado en los 9 cm/ seg

Luego de haber valorado a cada paciente en base a los datos obtenidos por el sensor 3D, se llega a la conclusión que el uso de herramientas externas ubicadas en los pacientes complican mucho la obtención de los valores ya que el sistema debe encontrarse en un ambiente adecuado donde no existe ninguna relación con el color ubicado en el dedal, porque al no estar correctamente adecuado el lugar se presenta demasiado ruido por lo que se alteran los datos.

Otra inconveniente que existió durante la recopilación de información de las actividades es que los pacientes al ser de avanzada edad y tener otras complicaciones cuentan con sillas de ruedas asignadas a cada uno donde la ubicación del paciente variaba en relación a la altura existente entre el suelo y la silla donde se sienta el paciente, por lo que hubo que realizarse modificaciones específicas para ciertos pacientes con el fin de que los datos que se obtengan sean los correctos.

# CAPITULO 4: Conclusiones y Recomendaciones

#### 4.1 Conclusiones

La Enfermedad de Parkinson (EP) afecta esencialmente los signos motores de las personas que la padecen, observándose con el paso de los años la ausencia cada vez más notoria de los movimientos de las extremidades superiores e inferiores. La enfermedad no tiene cura por lo que el tratamiento viene a base de medicamentos y rehabilitaciones ya establecidas para cada afección que presenta el paciente. Las actividades que realiza el doctor son de acuerdo a la escala mundial UPDRS, donde el doctor se encarga de inducir al paciente en cada una de estas.

Se logró reconocer y analizar los movimientos de la mano en pacientes con enfermedad de Parkinson (EP) mediante visión artificial utilizando el dispositivo Kinect V2

Se desarrolló un sistema capaz de facilitar al doctor el diagnóstico y análisis de la EP mediante una plataforma gráfica que muestra los datos obtenidos de cada actividad por sesión, además de una comparación de la velocidad registrada durante un rango de fechas asignadas. Dentro de este proyecto se analizaron dos tipos de actividades: golpeteo de los dedos y movimientos alternantes de las manos.

La plataforma desarrollada es una herramienta de apoyo para el diagnóstico final dentro del método de calificación habitual que el doctor da en base a la escala UPDRS.

Se realizó la validación del sistema a los pacientes de la UAM la cual indica que el sistema es capaz de diferenciar el avance que tiene la enfermedad de acuerdo a la velocidad promedio al realizar las pruebas en un tiempo determinado

Los resultados indican que el paciente 1 cuenta con un estado de gravedad mayor de la EP, viéndose su mano izquierda mucho más afectada que la derecha. Comparando su velocidad con la de los pacientes sanos se observa una clara diferencia, donde el paciente necesariamente necesita de una persona a su cuidado.

Otra forma de fomentar este sistema es que el doctor mediante el registro estadístico obtenido con el sistema podría determinar si la medicina o dosis que ingiere el paciente es la suficiente para ralentizar el progreso de la enfermedad y de esa forma mejorar la calidad de vida del paciente.

Este proyecto en un modelo que abre la investigación en nuevos campos afines al estudio de la enfermedad de Parkinson, dando una base para futuros desarrollos de proyectos enfocados en áreas de visión artificial y afecciones motores en el rango de las extremidades superiores.

#### 4.2 Recomendaciones

Realizar pruebas con más pacientes enfermos que se encuentren en diferentes etapas de la enfermedad, así como un número más grande de personas sanas con el fin de obtener una mejor comparación y clasificación de los resultados.

Mejorar la interfaz gráfica que maneja el doctor, validando cada uno de los datos obtenidos mediante una serie de filtros capaces de profundizar y clasificar cada información.

Aumentar la velocidad de fotogramas (tasa de muestreo) en la actividad de golpeteo de los dedos, ya que podrían no captarse datos relevantes al realizar la actividad.

Aumentar el número de sensores Kinect alrededor del paciente, pudiendo obtener de esta manera datos más precisos y un seguimiento más fiable de la variación de estado de cada actividad.

### Referencia Bibliográfica

- [1] J. Guijarro. "Las enfermedades en la ancianidad," in Anales del sistema sanitario de Navarra. Vol. 22. Pp. 85-94, 1999.
- [2] R. Mayeux, "Epidemiology of neurodegeneration," Annual review of neuroscience, vol. 26, no. 1, pp. 81-104, 2003.
- [3] Bermeo Maldonado, A. V., & Bravo Guamán, M. F. (2016). Diseño y desarrollo de un sistema inalámbrico que permita monitorear los temblores en pacientes que padecen la enfermedad de Parkinson utilizando software y hardware libre (Bachelor's thesis).
- [4] De Lau, Lonneke ML; Breteler, Monique MB. "Epidemilogy of Parkinson's disease." The Lancet Neurology, vol. 5, no 6, p. 525-535, 2006.
- [5] CEFMA Blog. (2017). *Enfermedad de Parkinson*. [Online] Recuperado de: http://cefmafap.com/blog/2009/07/enfermedad-de-parkinson/.
- [6] Micheli, F. E. (2006). *Enfermedad de Parkinson y trastornos relacionados*. Ed. Médica Panamericana. pág. 1.
- [7] Martínez-Sánchez, F. (2010). Trastornos del habla y la voz en la enfermedad de Parkinson. *Revista de Neurología*, 51(9), 542-550.
- [8] Nausieda, P. Enfermedad de Parkinson: Lo Que Usted y Su Familia Deben Saber.

  [Online] Recuperado de:

  http://www3.parkinson.org/site/DocServer/Lo\_Que\_Usted\_y\_Su\_Familia\_Deben\_Saber

  .pdf?docID=200.
- [9] Nefrouros.net. (2017). Parkinson afecta a 5 millones de personas en el mundo / Nefrouros. [Online] Recuperado de: http://nefrouros.net/parkinson-afecta-a-5-millones-de-personas-en-el-mundo.
- [10] Tratamientoparkinson.com. (2017). *Cifras sobre el Parkinson en el Mundo*. [Online] Recuperado de: https://tratamientoparkinson.com/noticias/275-cifras-sobre-el-parkinson-en-el-mundo.
- [11] Serra Olivares, J., Sánchez Pato, A., & Alonso Roque, J. I. (2010). Valoración motriz del enfermo de Parkinson: estudio de revisión. *Revista de Fisioterapia*, 9(2).
- [12] Frades-Payo, B., Forjaz, M. J., & Martínez-Martín, P. (2009). Situación actual del conocimiento sobre calidad de vida en la enfermedad de Parkinson: I. Instrumentos, estudios comparativos y tratamientos. *Rev Neurol*, 49, 594-59.
- [13] Zuñiga Durán, C. (2014). Efecto de un método de entrenamiento contra resistencia para mejorar la capacidad funcional y calidad de vida en un grupo de personas con enfermedad de Parkinson idiopático.

- [14] Rubio Angulo, J. J. (2015). Valoración y análisis de los movimientos de las manos de un paciente de Parkinson según la escala UPDRS usando técnicas de visión artificial con Kinect.
- [15] LeMoyne, R., Coroian, C., & Mastroianni, T. (2009, April). Quantification of Parkinson's disease characteristics using wireless accelerometers. In *Complex Medical Engineering*, 2009. CME. ICME International Conference on (pp. 1-5). IEEE.
- [16] Dai, H., & D'Angelo, L. T. (2013, June). Quantitative assessment of tremor during deep brain stimulation using a wearable glove system. In *Internet-of-Things Networking and Control (IoT-NC)*, 2013 IEEE International Workshop of (pp. 53-57). IEEE.
- [17] Pierleoni, P., Palma, L., Belli, A., & Pernini, L. (2014, June). A real-time system to aid clinical classification and quantification of tremor in Parkinson's disease. In *Biomedical and Health Informatics (BHI)*, 2014 IEEE-EMBS International Conference on (pp. 113-116). IEEE.
- [18] Kostikis, N., Hristu-Varsakelis, D., Arnaoutoglou, M., & Kotsavasiloglou, C. (2015). A smartphone-based tool for assessing parkinsonian hand tremor. *IEEE journal of biomedical and health informatics*, 19(6), 1835-1842.
- [19] Dror, B., Yanai, E., Frid, A., Peleg, N., Goldenthal, N., Schlesinger, I., & Raz, S. (2014, December). Automatic assessment of Parkinson's Disease from natural hands movements using 3D depth sensor. In *Electrical & Electronics Engineers in Israel (IEEEI)*, 2014 *IEEE 28th Convention of* (pp. 1-5). IEEE.
- [20] Espanol.ninds.nih.gov. (2017). Enfermedad de Parkinson: Esperanza en la investigación: National Institute of Neurological Disorders and Stroke (NINDS). [Online] Recuperado de: https://espanol.ninds.nih.gov/trastornos/parkinson\_disease\_spanish.htm.
- [21] National Parkinson Foundation. (2017). *National Parkinson Foundation: Believe in Better*. [Online] Recuperado de: http://www.parkinson.org/espanol/10signos
- [22] De la Casa Fages, B. (2013). Guía informativa de la enfermedad de Parkinson.
- [23] Heights, A. (2015). *Reflejos > Mal de Parkinson*. [Online] Reflejos.com. Recuperado de: http://www.reflejos.com/es/special-sections/health-wellness/article/15-11-29/mal\_de\_parkinson.aspx
- [24] Mínguez Mínguez, S. (2013). Enfermedad de Parkinson, estudios sobre la adherencia al tratamiento, calidad de vida y uso de la meta-análisis para la evaluación de fármacos.
- [25] Cronica.com.mx. (2016). *Características generales del mal de Parkinson*. [Online] Recuperado de: http://www.cronica.com.mx/notas/2005/181972.html
- [26] The Michael J. Fox Foundation for Parkinson's Research | Parkinson's Disease. (2018). *Síntomas de la enfermedad de Parkinson*. [Online] Recuperado de: https://www.michaeljfox.org/understanding-parkinsons/living-with-pd/topic.php?sintomas

- [27] Ingrid Estrada-Bellmann, Martínez Rodríguez HR. Diagnóstico y tratamiento de la enfermedad de Parkinson. 25. 8:16–22.
- [28] Miguel Ortega, G. E., & Yanes Bengoa, C. R. (2014). Neuromodulación cerebral profunda como opción terapéutica de la enfermedad de parkison idiopático en El Salvador: Informe de casos y evaluación de respuesta clínica.
- [29] Geosalud.com. (2018). *Enfermedad de Parkinson, Sintomas, Causas, Tratamiento*. [Online] Recuperado de: http://www.geosalud.com/adultos\_mayores/parkinson.htm
- [30] Zuber, M. (2002). Enfermedad de Parkinson. EMC-Tratado de Medicina, 6(1), 1-5.
- [31] Cenetec.salud.gob. (2015). *Diagnóstico y tratamiento de la ENFERMEDAD DE PARKINSON. Inicial y avanzada en el tercer Nivel de atención.* [Online] Recuperado de: http://www.cenetec.salud.gob.mx/descargas/gpc/CatalogoMaestro/305\_SSA\_10\_PARK INSON\_3ER\_NVL/GRR\_Parkinson.pdf.
- [32] Macías, Y. M. (2006). *Ansiedad, ira y tristeza-depresión en la enfermedad de parkinson* (Doctoral dissertation, Universidad Complutense de Madrid).
- [33] Fernández-Del Olmo, M., Arias, P., & Cudeiro-Mazaira, F. J. (2004). Facilitación de la actividad motora por estímulos sensoriales en la enfermedad de Parkinson. *Revista de Neurología*, 39(9), 841-847.
- [34] Neurowikia.es. (2016). *Temblor de reposo | NeuroWikia*. [Online] Recuperado de: http://www.neurowikia.es/content/temblor-de-reposo.
- [35] Kulisevsky Bojarski, J. (1999). Enfermedad de Parkinson. Guía terapéutica de la Sociedad Catalana de Neurología.
- [36] Fisioterapia-online.com. (2014). *Enfermedad de Parkinson. Características y síntomas*. [Online] Recuperado de: https://www.fisioterapia-online.com/articulos/enfermedad-deparkinson-caracteristicas-y-sintomas.
- [37] Pinheiro, D. (2018). ENFERMEDAD DE PARKINSON Síntomas, Causas y Tratamiento » MD.Saúde. [Online] MD.Saúde. Recuperado de: https://www.mdsaude.com/es/2016/12/enfermedad-de-parkinson.html.
- [38] Ministerio de Salud. (2010). Guía Clínica Enfermedad de Parkinson.
- [39] Jahanshahi, M. y Marsden, C.D. (1998) Enfermedad de Parkinson: Manual de consejos para la comunicación entre el equipo médico, paciente y sus cuidadores. Barcelona: Editores Médicos S.A. (Edimsa).
- [40] Birkmayer, W. y Danielczyk, W. (1997). La Enfermedad del Parkinson. Barcelona: Herder.
- [41] Senosiain Garcia, J., Aristu López, A., Bescós Ciprián, E., Andueza Michelena, P., Narvaiza Solís, J. (2002). Atención de enfermería al paciente con Parkinson. Summa Neurológica, Vol. I, 3: 35-46.

- [42] Doctorseijoneurocirugia.com. (2016). *Parkinson*. [Online] Recuperado de: http://www.doctorseijoneurocirugia.com/parkinson.html.
- [43] Cano dlC, Vela L, Miangolarra-Page JC, Macias-Macias Y, & Munoz-Hellin E (2010). [Quantitative measurement of axial rigidity, functional status and health-related quality of life in patients with Parkinson's disease]. Rev Neurol 51, 193-200.
- [44] Pupo, J. M. R., Rojas, Y. V. D., Rodríguez, Y. R., Rodríguez, Y. R., & Rodríguez, R. A. (2013). Actualización en enfermedad de Parkinson idiopática. *Correo Científico Médico de Holguín*, 17(2).
- [45] Castro, A. (1998). La Enfermedad de Parkinson y la Vida Cotidiana. Madrid: Ed. Ergon.
- [46] Ciberned.es. (2012). *Ciberned Síntomas no motores del Parkinson*. [Online] Recuperado de: https://ciberned.es/noticias/blog/411-sintomas-no-motores-del-parkinson-.html.
- [47] Simón Pérez, E., Aguilera Pacheco, O. R., Núñez Lahera, I., & Colina Avila, E. (2017). Síntomas no motores en pacientes con enfermedad de Parkinson. *MediSan*, 21(06), 681-687.
- [48] Rodríguez Pupo JM, Díaz Rojas YV, Rojas Rodríguez Y, Ricardo Rodríguez Y, Aguilera Rodríguez R. Actualización en enfermedad de Parkinson idiopática. CCM. 2013 [citado 6 Dic 2015]; 17(2).
- [49] Santos-García D, Aneiros-Díaz A, Macías-Arribi M, Llaneza-González MA, Abella-Corral J, Santos-Canelles H. Síntomas sensoriales en la enfermedad de Parkinson. Rev Neurol 2010; 50 (Supl. 2):S65-S74
- [50] Martínez-Fernández., R., Gasca-Salas C., C., Sánchez-Ferro, Á. and Ángel Obeso, J. (2016). ACTUALIZACIÓN EN LA ENFERMEDAD DE PARKINSON. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 27(3), pp.363-379.
- [51] Chaudhuri KR, Odin P, Antonini A, Martinez-Martin P. Parkinson's disease: the non-motor issues. Parkinsonism Relat Disord. 2011; 17(10):717-23
- [52] Kulisevsky, J., Luquin, M., Arbelo, J., Burguera, J., Carrillo, F., Castro, A., Chacón, J., García-Ruiz, P., Lezcano, E., Mir, P., Martinez-Castrillo, J., Martínez-Torres, I., Puente, V., Sesar, Á., Valldeoriola-Serra, F. and Yañez, R. (2013). Enfermedad de Parkinson avanzada. Características clínicas y tratamiento. Parte II. *Neurología*, 28(9), pp.558-583.
- [53] Weintraub D, Koester J, Potenza MN, Siderowf AD, Stacy M, Voon V, et al. Impulse control disorders in Parkinson disease: A cross-sectional study of 3090 patients. Arch Neurol. 2010; 67:589—95.
- [54] Romero, J. (2013). Fenómenos on-off y wearing-off en la enfermedad de Parkinson. [Online] Blog NeuronUP. Recuperado de: https://blog.neuronup.com/fenomenos-on-off-wearing-off-en-la-enfermedad-de-parkinson/.
- [55] de la Cuerda, R. C., Jiménez, A. M., Sánchez, V. C., & Cabezas, M. M. (2004). Escalas de valoración y tratamiento fisioterápico en la enfermedad de Parkinson. *Fisioterapia*, 26(4), 201-210.

- [56] Rodríguez-Violante, M., & Cervantes-Arriaga, A. (2014). La escala unificada de la enfermedad de Parkinson modificada por la Sociedad de Trastornos del Movimiento (MDS-UPDRS): aplicación clínica e investigación. *Arch Neurocien (Mex)*, 19(3), 157-163.
- [57] Rodríguez, H. R. M. Diagnóstico y tratamiento de la enfermedad de Parkinson. Diagnóstico, 8(25).
- [58] Chávez-León, E., Ontiveros-Uribe, M. P., & Carrillo-Ruiz, J. D. (2013). La enfermedad de Parkinson: neurología para psiquiatras. *Salud mental*, *36*(4), 315-324.
- [59] Jiménez García, G. A. (2016). Modelo para el análisis de indicadores biomecánicos bilaterales, en personas con trastornos del movimiento.
- [60] Echeverry Díaz, J. (2011). Validación de la nueva versión de la escala unificada para la evaluación de la enfermedad de Parkinson (MDS-UPDRS) en español. Resultados de la fase I:(validación lingüística).
- [61] Arango Hoyos, G. P., Bolaños Roldán, A. M., Fernández Hurtado, B. E., & Vélez Álvarez, C. (2014). Calidad de vida y discapacidad en personas con enfermedad de Parkinson de la ciudad de Cali 2011.
- [62] Lonneke Ml, De Lau Y, Breteler M. Epidemiology of Parkinson's disease. Lancet Neurology 2006; 5:525-535
- [63] World Health Organization. (2006). Trastornos Neurológicos: Desafíos Para la Salud Pública.
- [64] Diariodeunfisioterapeuta.blogspot.com. (2015). *CLAVES FISIOTERAPEUTICAS EN REHABILITACIÓN CARDÍACA*. [Online] Recuperado de: http://diariodeunfisioterapeuta.blogspot.com/2015/11/claves-fisioterapeuticas-en.html
- [65] Barzallo Córdova, B. J., Sigcha, P., & Catalina, B. (2017). Diseño, desarrollo e implementación de un dispositivo inalámbrico para detección de episodios de congelamiento de la marcha en pacientes con la enfermedad de Parkinson (Bachelor's thesis).
- [66] Salud.gob.ec. (2017). *Información estadística y geográfica de salud Ministerio de Salud Pública*. [Online] Recuperado de: http://www.salud.gob.ec/informacion-estadistica-de-produccion-de-salud/
- [67] Deuschl, G., Bain, P., & Brin, M. (1998). Consensus statement of the Movement Disorder Society on tremor. *Movement Disorders*, 13(S3), 2-23.
- [68] Goetz, C. G., Tilley, B. C., Shaftman, S. R., Stebbins, G. T., Fahn, S., Martinez-Martin, P., ... & Dubois, B. (2008). Movement Disorder Society-sponsored revision of the Unified Parkinson's Disease Rating Scale (MDS-UPDRS): Scale presentation and clinimetric testing results. *Movement disorders*, 23(15), 2129-2170.
- [69] Nider.nih.gov. (2012). Dental Care Every Day: A Caregiver's Guide. [Online] Recuperado de:

- https://www.nidcr.nih.gov/oralhealth/Topics/Developmental Disabilities/Dental Care Every Day.htm
- [70] Navarro Alarcón, R. A. (2007). Efecto del Extracto Estandarizado de Ginkgo Biloba en un Paciente con Enfermedad de Parkison. Estudio Electroencefalográfico.
- [71] Getm.sen.es. *Unified Parkinson's Disease Rating Scale (UPDRS) Grupo de Estudio de Trastornos del Movimiento*. [Online] Recuperado de: http://getm.sen.es/escalas-devaloracion/unified-parkinsons-disease-rating-scale-updrs/
- [72] Cortés Osorio, J. A., Medina, F. A., & Chaves Osorio, J. A. (2007). Diseño y construcción de un dispositivo para la medición del trastorno del movimiento en la manotemblor. *Scientia Et Technica*, *13*(37)
- [73] Lee, U., Kang, S. J., Choi, J. H., Kim, Y. J., & Ma, H. I. (2016). Mobile application of finger tapping task assessment for early diagnosis of Parkinson's disease. *Electronics Letters*, 52(24), 1976-1978.
- [74] Garcia, R. G., Ballado, A. H., Paglinawan, A. C., Paglinawan, C. C., Gavino, R. B., Magcamit, B. A. J., ... & Tiongson, M. F. (2016, November). Hand tremor analyzer using accelerometry for preliminary diagnosis, classification and monitoring of selected movement disorders. In *Control System, Computing and Engineering (ICCSCE)*, 2016 6th IEEE International Conference on (pp. 392-396). IEEE.
- [75] Yang, L., Zhang, L., Dong, H., Alelaiwi, A., & El Saddik, A. (2015). Evaluating and improving the depth accuracy of Kinect for Windows v2. *IEEE Sensors Journal*, 15(8), 4275-4285.
- [76] EcuRed. (2016). Project Natal. [Online] Recuperado de: http://www.ecured.cu/Project\_Natal
- [77] Noto, S. Kinect 2
- [78] Pinilla, M. H. (2014). Evaluación ergonómica en tiempo real mediante sensores de bajo coste (Kinect).
- [79] Ortega, C., Viviana, M., Gaibor, V., & Iralda, C. (2016). Diseño e implementación de un sistema interactivo mediante tecnología Kinect v2. 0 para desarrollar las habilidades psicomotrices en personas con discapacidad visual (Bachelor's thesis, Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo, 2016.).
- [80] Duque, E. and →, V. (2012). *Qué es el Microsoft Kinect?*. [Online] Edwin Duque Blog, Toward a brand-NUI World. Recuperado de: https://edwinnui.wordpress.com/2015/02/03/qu-es-el-microsoft-kinect/.
- [81] Corporation, M. (2014). Human Interface Guidelines v2.0.
- [82] Fernandez, Z. (2014). Control de Software Educativo mediante Kinect de Microsoft. Madrid.
- [83] Sg.com.mx. (2014). [Online] Recuperado de: https://sg.com.mx/sites/default/files/images/stories/sg45/whitepaper\_-\_kinect\_para\_windows.pdf.

- [84] Microsoft. (2017). Configurar el sensor Kinect para Windows v2 o un sensor Kinect de Xbox con el Adaptador de Kinect para Windows. [Online] Recuperado de: https://support.xbox.com/es-MX/xbox-on-windows/accessories/kinect-for-windows-v2-setup.
- [85] TechSpot, K. (2018). *Kinect for Windows Software Development Kit (SDK)* 2.0.1410.19000. [Online] Recuperado de: https://www.techspot.com/drivers/driver/file/information/18015/
- [86] Processing.org. (2017). *Processing.org*. [Online] Recuperado de: https://processing.org/
- [87] Processing.org. (2017.). *Libraries* \ *Processing.org*. [Online] Recuperado de: https://processing.org/reference/libraries/.
- [88] Support.xbox.com. (2018.). *Ubicación del sensor Kinect | Configuración de Kinect | Soporte técnico Kinect Xbox.com*. [Online] Recuperado de: https://support.xbox.com/es-EC/xbox-360/kinect/sensor-placement
- [89] Support.xbox.com. (2018). *Uso del sensor Kinect | Xbox One S | Xbox One X*. [Online] Recuperado de: https://support.xbox.com/es-ES/xbox-one/accessories/kinect-adapter
- [90] Processing.org. (2017). *Support* \ *Processing.org*. [Online] Recuperado de: https://processing.org/download/support.html.
- [91] Support.xbox.com. (2018). *Iluminación para Kinect | Ejemplos de iluminación buena y mala para Kinect*. [Online] Recuperado de: https://support.xbox.com/es-UY/xbox-360/kinect/lighting

## **APENDICE**

**Apéndice: Presupuesto** 

Costo del desarrollo del sistema			
Cantidad	Descripción	Valor Unitario	Total
1	Sensor Kinect V2	\$ 150,00	\$ 150,00
1	Adaptador del sensor para PC	\$ 120,00	\$ 120,00
1	Trípode	\$ 20,00	\$ 20,00
340 horas	Programación del sistema	\$ 6	\$ 2.040,00
250 horas	Programación de la Interfaz del Doctor	\$ 6	\$ 1.500,00
1	Varios	\$ 50,00	\$ 50,00
TOTAL			\$ 3.880,00