



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Análisis biomecánico de personas con artritis reumatoide
en diversos estadios con deformidad de Boutonniere

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Biomédica

AUTOR/A: Castelo Guevara, Edwin Andrés

Tutor/a: Martinez Sanchis, Sandra

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIERÍA
INDUSTRIAL VALENCIA

Curso Académico:

AGRADECIMIENTOS

“Quiero agradecer a Dios por todas las bendiciones recibidas, a mis padres, la principal motivación para seguir adelante ante cualquier adversidad, mi hermana y mi sobrina como pilares fundamentales en todas las etapas de mi vida. También a mis dos ángeles en cielo, donde quiera que estén los extraño mucho. A la UPV y a la ETSII por la oportunidad de abrirme sus puertas. A mi tutora por encaminarme hasta concluir el presente”

RESUMEN

Dentro del sistema sanitario, el desconocimiento de la artritis reumatoide en la población ecuatoriana es un problema considerable y sus afecciones posteriores representan agravaciones complejas. La necesidad de utilizar nuevas tecnologías útiles para evaluación de las articulaciones interfalángicas y metacarpofalángicas han ayudado parcialmente a ciertos voluntarios con la enfermedad degenerativa. La implementación de una metodología basada en protocolos de evaluación de movimiento y fuerza han permitido analizar también diversas variables como posición y velocidad. A partir de un análisis biomecánico en las principales articulaciones de la mano con el soporte de Leap Motion® y MATLAB®, se realiza la generación de movimiento en flexo-extensión con veinte personas, tanto voluntarios con artritis reumatoide como personas sanas de manera proporcional. Se han tomado en cuenta diversos estadios, desde casos leves hasta deformaciones de Boutonnière visibles en las falanges. Las estadísticas recopiladas en la bibliografía se comprueba la razón 3: 1 con personas de sexo femenino predominante con la enfermedad desarrollada. Mediante el procesamiento de datos obtenidos con la captura de movimiento en tiempo real se presentan gráficas analizando las articulaciones PIP y MIP con una referencia principal en personas sanas comparando posteriormente con las personas patológicas. El estadio con anquilosis es el primer caso en analizar su comportamiento con Unity® dando una funcionalidad con simulación de movimiento para la evaluación de las articulaciones. Los resultados indican una limitación en diversos movimientos como la evaluación de la articulación interfalángica proximal de cada una de las falanges y en caso con estadio más graves la flexo-extensión soportadas por la articulación metacarpofalángica.

Palabras Clave: artritis reumatoide, articulación, interfalángica (PIP), metacarpofalángica (MCF), Leap Motion®, MATLAB®, Boutonnière, deformación, Unity®, estadio, anquilosis, flexo-extensión, biomecánico.

RESUM

Dins del sistema sanitari, el desconeixement de l'artritis reumatoide en la població equatoriana és un problema considerable i les seues afeccions posteriors representen agreujaments complexos. La necessitat d'utilitzar noves tecnologies útils per a l'avaluació d'articulacions interfalàngiques i metacarpofalàngiques han ajudat parcialment a certs voluntaris amb la malaltia degenerativa. L'implementació d'una metodologia basada en protocols d'avaluació de moviment i força han permés analitzar també diverses variables, com, per exemple, posició i velocitat. A partir de l'anàlisi biomecànic en les principals articulacions de la mà amb el suport de Leap Motion® i MATLAB®, es realitza la generació de moviment en flexo-extensió amb vint persones, tant voluntaris amb artritis reumatoide com persones sanes de manera proporcional. S'ha tingut en compte diversos estadis, des de casos lleus fins a deformacions de Boutonnière visibles en les falanges. Les estadístiques recopilades a la bibliografia es comprova la raó 3: 1 amb persones de sexe femení predominant amb la malaltia desenvolupada. Mitjançant el processament de dades obtingudes amb la captura de moviment en temps real es presenten gràfiques analitzant les articulacions PIP i MIP amb una referència principal en persones sanes comparant posteriorment amb les persones patològiques. L'estadi amb anquilosi és el primer cas a analitzar el seu comportament amb Unity® donant una funcionalitat amb simulació de moviment per a l'avaluació de les articulacions. Els resultats indiquen una limitació en diversos moviments com l'avaluació de l'articulació interfalàngica proximal de cadascuna de les falanges i, en cas d'estadi més greu, la flexo-extensió suportades per l'articulació metacarpofalàngica.

Paraules clau: artritis reumatoide, articulació, interfalàngica (PIP), metacarpofalàngica (*MCF), Leap Motion®, MATLAB®, Boutonnière, deformació, Unity®, estadi, anquilosi, flexo-extensió, biomecànic.

ABSTRACT

Within the health system, the lack of knowledge of rheumatoid arthritis in the Ecuadorian population is a considerable problem and its subsequent conditions represent complex aggravations. The need to use new technologies useful for evaluation of the interphalangeal and metacarpophalangeal joints has partially helped certain volunteers with the degenerative disease. The implementation of a methodology based on movement and force evaluation protocols has also allowed the analysis of several variables such as position and velocity. Based on a biomechanical analysis in the main joints of the hand with the support of Leap Motion® and MATLAB®, the generation of movement in flexion-extension is performed with twenty people, both volunteers with rheumatoid arthritis and healthy people proportionally. Various stages have been taken into account, from mild cases to visible Boutonnière deformities of the phalanges. The statistics compiled in the bibliography prove the 3:1 ratio with predominantly female persons with developed disease. Through the processing of data obtained with real time motion capture, graphs are presented analyzing the PIP and MIP joints with a main reference in healthy persons and then compared with pathological persons. The stage with ankylosis is the first case to analyze its behavior with Unity® giving a functionality with motion simulation for the evaluation of the joints. The results indicate a limitation in several movements such as the evaluation of the proximal interphalangeal joint of each of the phalanges and in the case of more severe stage the flexion-extension supported by the metacarpophalangeal joint.

Keywords: rheumatoid arthritis, joint, interphalangeal (PIP), metacarpophalangeal (MCF), Leap Motion®, MATLAB®, Boutonnière, deformation, Unity®, stage, ankylosis, flexion-extension, biomechanical.

DOCUMENTO 01:
MEMORIA

Tabla de contenido

Índice de Figuras	4
Índice de Tablas.....	8
1. Introducción	10
1.1. Motivación	10
1.2. Objetivos	11
1.2.1. Objetivo General	11
1.2.2. Objetivos Específicos	11
1.3. Anatomía de la mano	12
1.4. Biomecánica de la mano.....	14
1.4.1. Biomecánica articulación metacarpofalángica	14
1.4.2. Biomecánica articulación interfalángica	15
1.5. Biomecánica de la muñeca	15
1.6. Artritis reumatoide	15
1.6.1. Factores de riesgo de la artritis reumatoide.....	16
1.6.2. Estadios de la rtritis reumatoide.....	16
1.6.3. Artritis reumatoide en las manos	16
1.6.4. Deformidad de Boutonnière.....	17
1.7. Estado del Arte	18
2. Materiales y Métodos	22
2.1. Software	22
2.1.1. Unity®	22
2.1.2. MATLAB®	22
2.1.3. Leap Motion®	23
2.2. Dinamómetro de mano	24
2.3. Protocolo	25
2.4. Conexión MATLAB® con Leap Motion®	25
3. Resultados y Discusión	27
3.1. Muestra y obtención de datos.....	27
3.1.1. Análisis gráficas posición y velocidad en pacientes con artritis reumatoide	27
3.1.1.1. Voluntario 1: Hombre de 53 años con artritis reumatoide	27

3.1.1.1.1. Análisis flexo-extensión voluntario 1	29
3.1.1.2. Voluntario 2: Hombre de 54 años con artritis reumatoide	30
3.1.1.2.1. Análisis flexo-extensión voluntario 2	31
3.1.1.3. Voluntario 3: Mujer de 67 años con artritis reumatoide	32
3.1.1.3.1. Análisis flexo-extensión voluntario 3	33
3.1.1.4. Voluntario 4: Mujer de 94 años con artritis reumatoide	34
3.1.1.4.1. Análisis flexo-extensión voluntario 4	35
3.1.1.5. Voluntario 5: Mujer de 50 años con artritis reumatoide	36
3.1.1.5.1. Análisis flexo-extensión voluntario 5	37
3.1.1.6. Voluntario 6: Mujer de 40 años con artritis reumatoide	38
3.1.1.6.1. Análisis flexo-extensión voluntario 6	40
3.1.1.7. Voluntario 7: Mujer de 43 años con artritis reumatoide	41
3.1.1.7.1. Análisis flexo-extensión voluntario 7	42
3.1.1.8. Voluntario 8: Mujer de 74 años con artritis reumatoide	44
3.1.1.8.1. Análisis flexo-extensión voluntario 8	45
3.1.1.9. Voluntario 9: Hombre de 53 años artritis reumatoide	46
3.1.1.9.1. Análisis flexo-extensión voluntario 9	48
3.1.1.10. Voluntario 10: Mujer de 49 años con artritis reumatoide	49
3.1.1.10.1. Análisis flexo-extensión voluntario 10	50
3.1.2. Análisis gráficas posición y velocidad en personas sanas	51
3.1.2.1. Voluntario 11: Mujer de 47 años sana	51
3.1.2.1.1. Análisis flexo-extensión voluntario 11	52
3.1.2.2. Voluntario 12: Hombre de 54 años sano	53
3.1.2.2.1. Análisis flexo-extensión voluntario 12	55
3.2. Valoración de la fuerza en los voluntarios sanos y enfermos	56
3.2.1. Comparación de fuerza entre voluntarios sanos y enfermos	60
3.3. Comparación de resultados personas con medicamento y rehabilitación	62
3.3.1. Indicaciones de los medicamentos ingeridos	62
3.3.2. Voluntario 9 con medicamento y sin medicamento	62
3.3.3. Voluntario 1 en rehabilitación	70
3.4. Simulación de datos en tiempo real mediante UNITY®	72

4. Conclusiones y trabajo futuro	77
5. Referencias.....	79

Índice de Figuras

<i>Figura 1. Huesos de la mano [6]</i>	12
<i>Figura 2. Articulaciones de la mano [14]</i>	12
<i>Figura 3. Representación mano [14]</i>	13
<i>Figura 4. Ligamentos y músculos de la mano [14]</i>	13
<i>Figura 5. Movimiento abducción mano</i>	14
<i>Figura 6. Movimiento de flexión de la mano</i>	14
<i>Figura 7. Movimiento de extensión segunda falange</i>	15
<i>Figura 8. Movimiento extensión falanges</i>	15
<i>Figura 9. Deformación de las falanges “cuello cisne”</i>	16
<i>Figura 10. Artritis reumatoide en mano</i>	17
<i>Figura 11. Deformación de Boutonnière</i>	18
<i>Figura 12. Funcionamiento Leap Motion® [13]</i>	19
<i>Figura 13. Sensor Leap Motion® [12]</i>	19
<i>Figura 14. Captura de movimiento en tiempo real [19]</i>	20
<i>Figura 15. Ejes coordenados en Leap Motion® [11]</i>	20
<i>Figura 16. Leap Motion® para videojuegos [8]</i>	21
<i>Figura 17. Interfaz de Unity®</i>	22
<i>Figura 18. Interfaz MATLAB®</i>	23
<i>Figura 19. Interfaz Leap Motion®</i>	24
<i>Figura 20. Dinamómetro mano</i>	24
<i>Figura 21. Valoración del movimiento con el protocolo</i>	25
<i>Figura 22. Posición 2D persona 53 años con AR</i>	28
<i>Figura 23. Velocidad 2D persona 53 años con AR</i>	28
<i>Figura 24. Análisis articulaciones interfalángicas</i>	29
<i>Figura 25. Análisis flexo-extensión hombre 53 años enfermo</i>	30
<i>Figura 26. Manos hombre 53 años enfermo</i>	30
<i>Figura 27. Velocidad y posición 2D persona 54 años Artritis reumatoide</i>	31
<i>Figura 28. Análisis flexo-extensión hombre 53 años enfermo</i>	32
<i>Figura 29. Manos hombre 54 años enfermo</i>	32

<i>Figura 30. Análisis posición y velocidad mujer 67 años artritis reumatoide</i>	33
<i>Figura 31. Análisis flexo-extensión mujer 67 años enferma</i>	34
<i>Figura 32. Mano mujer 67 años enferma</i>	34
<i>Figura 33. Posición y velocidad mujer 94 años con la enfermedad</i>	35
<i>Figura 34. Análisis flexo-extensión mujer 94 años enferma</i>	36
<i>Figura 35. Manos mujer 94 años enferma</i>	36
<i>Figura 36. Posición y velocidad persona 50 años con artritis reumatoide</i>	37
<i>Figura 37. Análisis flexo-extensión mujer 50 años enferma</i>	38
<i>Figura 38. Mano mujer 50 años enferma</i>	38
<i>Figura 39. Análisis posición persona 40 años enferma</i>	39
<i>Figura 40. Posiciones obtenidas de MATLAB® 40 años enferma</i>	39
<i>Figura 41. Análisis velocidad persona 40 años enferma</i>	40
<i>Figura 42. Análisis flexo-extensión mujer 40 años enferma</i>	40
<i>Figura 43. Mano mujer 40 años enferma</i>	41
<i>Figura 44. Análisis posición persona 43 años enferma</i>	42
<i>Figura 45. Análisis velocidad persona 43 años enferma</i>	42
<i>Figura 46 Análisis flexo-extensión mujer 43 años enferma</i>	43
<i>Figura 47. Manos mujer 43 años enferma</i>	43
<i>Figura 48. Análisis posición persona 74 años enferma</i>	44
<i>Figura 49. Posiciones de los movimientos en MATLAB®</i>	44
<i>Figura 50. Análisis velocidad persona 74 años enferma</i>	45
<i>Figura 51. Análisis flexo-extensión mujer 74 años enferma</i>	46
<i>Figura 52. Análisis posición persona 53 años enfermo</i>	46
<i>Figura 53. Análisis flexo-extensión persona 53 años enfermo</i>	47
<i>Figura 54. Análisis velocidad persona 40 años enferma</i>	47
<i>Figura 55 Análisis flexo-extensión hombre 53 años enfermo</i>	48
<i>Figura 56. Mano hombre 53 años enfermo</i>	49
<i>Figura 57. Análisis posición persona 49 años enfermo</i>	50
<i>Figura 58. Análisis velocidad persona 49 años enferma</i>	50
<i>Figura 59. Análisis flexo-extensión mujer 49 años enferma</i>	51
<i>Figura 60. Mano mujer 49 años enferma</i>	51

<i>Figura 61. Análisis posición persona 47 años sana</i>	<i>52</i>
<i>Figura 62. Análisis velocidad 47 años sana</i>	<i>52</i>
<i>Figura 63. Análisis flexo-extensión 47 años sana</i>	<i>53</i>
<i>Figura 64. Análisis posición 54 años sano.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 65. Análisis movimiento hombre 54 años sano</i>	<i>54</i>
<i>Figura 66. Análisis velocidad 54 años sana</i>	<i>55</i>
<i>Figura 67. Análisis pico flexo-extensión 54 años sano</i>	<i>56</i>
<i>Figura 68. Análisis flexo-extensión 54 años sano</i>	<i>56</i>
<i>Figura 69. Valoración de fuerza personas sanas</i>	<i>58</i>
<i>Figura 70. Valoración fuerza personas con artritis reumatoide</i>	<i>60</i>
<i>Figura 71. Valoración fuerza persona 43 años sana y enferma</i>	<i>60</i>
<i>Figura 72. Valoración fuerza persona rango de edad 53-54 años sano y enfermo</i>	<i>61</i>
<i>Figura 73. Valoración fuerza persona rango de edad 49-51 años sana y enferma</i>	<i>61</i>
<i>Figura 74. Análisis posición 53 años con artritis reumatoide sin medicamento</i>	<i>63</i>
<i>Figura 75. Análisis velocidad 53 años con artritis reumatoide sin medicamento</i>	<i>63</i>
<i>Figura 76. Análisis flexo-extensión 53 años con artritis reumatoide sin medicamento</i>	<i>64</i>
<i>Figura 77. Análisis posición voluntario 1 con artritis reumatoide previo a ingesta del medicamento ..</i>	<i>65</i>
<i>Figura 78. Análisis velocidad voluntario 1 con artritis reumatoide previo a ingesta del medicamento</i>	<i>65</i>
<i>Figura 79. Análisis movimiento previo a la ingesta de movimiento.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 80. Análisis flexo-extensión voluntario 1 con artritis reumatoide previo a ingesta del medicamento</i>	<i>67</i>
<i>Figura 81. Análisis posición voluntario 1 con artritis reumatoide 1h después de ingesta del medicamento</i>	<i>67</i>
<i>Figura 82. Análisis movimiento 1h después de la ingesta del medicamento</i>	<i>68</i>
<i>Figura 83. Análisis velocidad voluntario 1 con artritis reumatoide 1h después ingesta del medicamento</i>	<i>69</i>
<i>Figura 84. Análisis flexo-extensión voluntario 1, 1h después de la ingesta del medicamento</i>	<i>70</i>
<i>Figura 85. Análisis posición hombre 53 años después de un mes de rehabilitación</i>	<i>70</i>
<i>Figura 86. Análisis velocidad hombre 53 años después de un mes de rehabilitación</i>	<i>71</i>
<i>Figura 87. Análisis flexo-extensión hombre 53 años después de un mes de rehabilitación</i>	<i>72</i>
<i>Figura 88. Interfaz gráfica toma de datos para simulación movimiento manos</i>	<i>72</i>
<i>Figura 89. Captura de datos en Unity® tiempo real</i>	<i>73</i>

<i>Figura 90. Animación con captura de movimiento mediante Leap Motion®</i>	<i>73</i>
<i>Figura 91. Hombre 73 años con artritis reumatoide estadio grave</i>	<i>74</i>
<i>Figura 92. Análisis posición persona con estadio grave.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 93. Análisis velocidad persona con estadio grave.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 94. Análisis posición persona con estadio grave.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 95. Captura de movimiento persona con estadio grave</i>	<i>76</i>
<i>Figura 96. Animación captura de movimiento persona con estadio grave</i>	<i>76</i>

Índice de Tablas

Tabla 1. Valoración con media aritmética de la fuerza personas sanas57

Tabla 2. Valoración con media aritmética de la fuerza personas enfermas58

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Motivación

En la población mundial las estadísticas establecen un rango de 0.5 a 2% que padecen de algún tipo de artritis. Información correspondiente al último estudio realizado sobre Ecuador, aproximadamente 140 mil personas sufren de esta enfermedad, donde la relación entre mujeres y hombres es de 3:1. Uno de los factores de riesgo según el estudio de Castillo [9] indica que la población con un nivel socioeconómico bajo tienen más probabilidades de padecer esta enfermedad. Esta enfermedad presenta un fenotipo marcado dentro de las personas que lo padecen.

En la población ecuatoriana existe un desconocimiento parcial (conocen sobre la enfermedad, pero no sobre las diversas consecuencias dentro de su organismo) de los posibles riesgos que afectan a las articulaciones, piensan en diferentes causas y sus remedios tradicionales a largo plazo resultan inservibles. La importancia del estudio de la artritis reumatoide es muy importante en la población debido a la magnitud de casos no registrados de la enfermedad, pero demasiado notorio en gente que desconoce de la enfermedad degenerativa y ante una desesperada solución recurren a diversos métodos o la propia manipulación de articulación afectando su salud, en otros casos la resignación repercute en problemas secundarios como la depresión. Muchos de ellos están prestos a una ayuda externa que consiga explicar lo sucedido dentro de su organismo. Debido al precario sistema de salud, es decir, muchos no tienen acceso a un seguro social particular sino a una sanidad pública de pésimas condiciones, estas personas optan por buscar medicinas alternativas con resultados visibles muy deplorables. El estudio se centra específicamente en las articulaciones metacarpofalángicas y las articulaciones interfalángicas de las manos debido a su fácil visualización y relación con la enfermedad degenerativa, incluyendo dispositivos (sensor Leap Motion®) para observar el movimiento de las articulaciones en tiempo real a través de software y obtención de datos en MATLAB®

A través del uso de la tecnología se han creado varias metodologías para la rehabilitación de los miembros superiores. Sin embargo, en Ecuador existe una escasez de información y tecnología para tratar este tipo de enfermedades. Ante esta necesidad se pretende realizar un análisis biomecánico mediante diferentes herramientas como software y otra instrumentación adicional (dinamómetro de mano) para la valoración de fuerza en las articulaciones previamente nombradas incluyendo un estudio de observación con un protocolo establecido diversos movimientos para una evaluación de articulaciones en personas mayores de 40 años con diversos estadios de la enfermedad.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

El objetivo principal del trabajo de fin de máster es analizar la biomecánica de manos en personas con artritis reumatoide respecto a personas sanas mediante una metodología utilizando protocolos, así como software y Leap Motion® para población de Ecuador.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Establecer un protocolo para movimiento de articulaciones interfalángicas y metacarpofalángicas en personas sanas y con artritis reumatoide.
- Estimar los valores de fuerzas medidos con el dinamómetro de mano para toda la muestra de personas.
- Observar el comportamiento biomecánico de las personas y sus respectivas comparaciones entre la muestra de patológicos y sanos mediante Leap Motion®
- Relacionar Leap Motion® mediante la utilización de MATLAB® y crear un movimiento de la mano patológica en Unity® a través de los datos obtenidos de la medición biomecánica

1.3. Anatomía de la mano

La mano está compuesta por diversas articulaciones destacando las interfalángicas divididas en distales (DIP), proximales (PIP), la primera falange tiene un hueso sesamoideo. Además, las articulaciones metacarpofalángicas y la muñeca. [14]

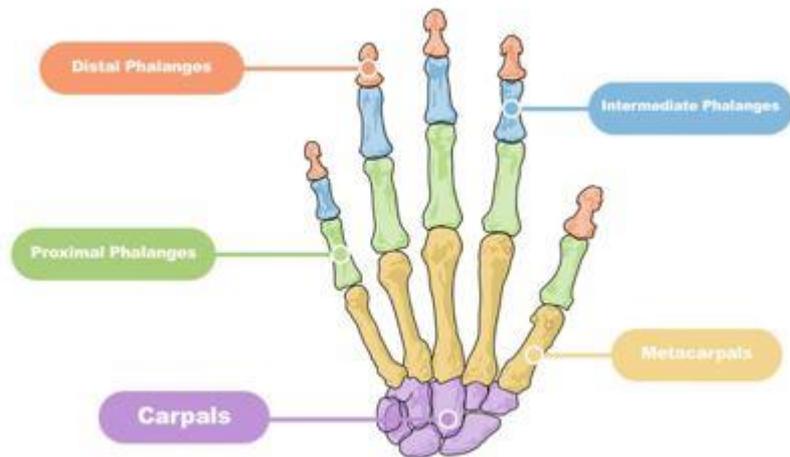


Figura 1. Huesos de la mano [6]

La anatomía de la mano está conformada por cinco falanges, distribuidas de la segunda a la quinta en falanges distales, proximales y mediales. La primera falange (pulgares) solamente consta de falange distal y proximal. Las articulaciones formadas por las falanges se denominan interfalángicas. Pertenecen a las trocleares, es decir, permiten una movilidad de flexión y extensión en los dedos. [6]. Comprenden además ligamentos laterales externos e internos

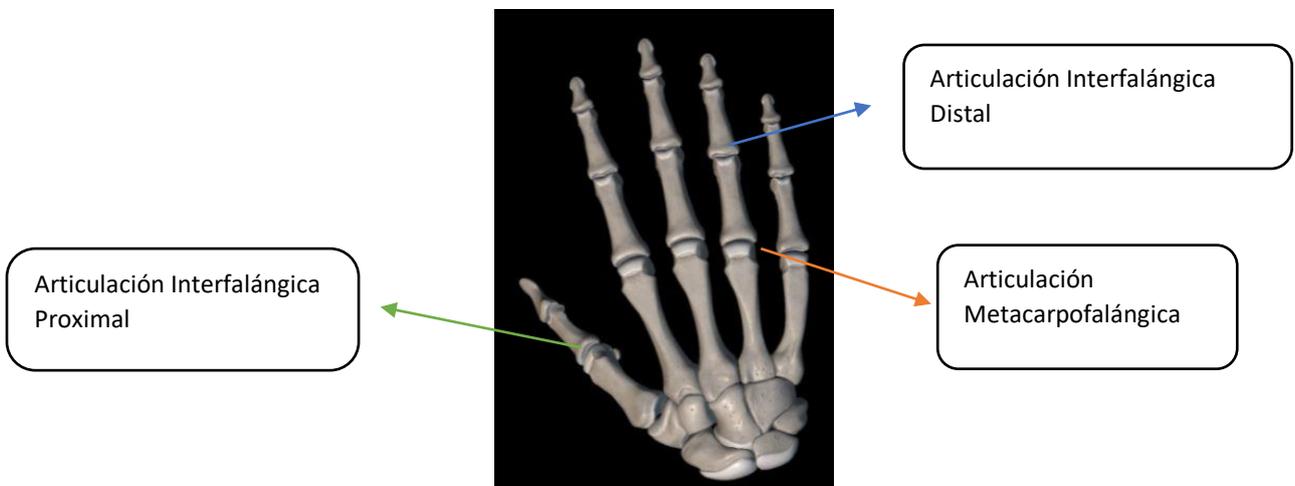


Figura 2. Articulaciones de la mano [14]

Las articulaciones metacarpofalángicas están formadas por los huesos falángicos proximales y metacarpianos. Son de tipo enartrosis, con variaciones de movimientos biaxiales. Sus cóndilos visibles hacen particular a este tipo de articulación. Posee ligamentos laterales internos y externos al igual que en las articulaciones interfalángicas. Los ligamentos transversos dan estabilidad a los 4 huesos de las falanges proximales.[6]



Figura 3. Representación mano [14]

Cada una de estas articulaciones tiene una capsula según el dedo en el que se situó. La articulación de la muñeca la componen los huesos cubital y radial desde el antebrazo y se unen a los carpos compuestos por: trapecio trapezoide, gancho, piramidal, pisiforme, grande, escafoides y semilunar. Es una de las articulaciones más complejas del ser humano.[14]



Figura 4. Ligamentos y músculos de la mano [14]

1.4. Biomecánica de la mano

Esta zona del cuerpo humano comprende muchas articulaciones y entre ellas también movimientos particulares como la abducción del dedo pulgar. Este movimiento presenta un rango desde 0 hasta 70°. [6]



Figura 5. Movimiento abducción mano

Ahora tomando en cuenta los 4 dedos y con referencia en las falanges del tercer dedo, se produce un movimiento de abducción de 20°.

1.4.1. Biomecánica articulación metacarpofalángica

En esta articulación nos permite movimientos de flexión y extensión. En un rango de 90° respecto a la flexión se produce una tensión máxima en los ligamentos impidiendo así realizar otros movimientos como aducción o abducción. Cuando el movimiento es de extensión los ligamentos se vuelven laxos, es decir, no existe tensión. Su rango de movimiento está dentro de los 30 y 45° para extensión.[7]



Figura 6. Movimiento de flexión de la mano

1.4.2. Biomecánica articulación interfalángica

Dentro de la articulación interfalángica proximal, para la segunda hasta la quinta falange el rango de movimiento está dentro de 110 a 130°, mientras que la interfalángica distal, esta articulación presenta una amplitud de 45 a 90° [6]



Figura 7. Movimiento de extensión segunda falange

1.5. Biomecánica de la muñeca

La muñeca permite un movimiento de flexión y extensión, la primera con un rango de amplitud de 70° mientras que el siguiente movimiento presenta 80° respecto a una posición neutra de la mano. Respecto a sus otros movimientos, en la desviación cubital se genera un movimiento de 30° mientras en la desviación radial supone una amplitud de 20° [7]



Figura 8. Movimiento extensión falanges

1.6. Artritis reumatoide

La artritis reumatoide es una enfermedad degenerativa cuya causa todavía no está bien establecida, sino más bien depende de algunos factores de riesgo, uno de ellos genético. Esta enfermedad presenta sus primeros síntomas con la tumefacción de las articulaciones de distintas zonas del cuerpo, la más representativa son las manos, sus dolores suponen más allá de 30 minutos a diferencia de la artrosis. La hinchazón en las articulaciones afecta al líquido sinovial y en el caso de las manos las articulaciones interfalángicas y metacarpofalángicas son las más afectadas, muchas veces con casos puntuales como las desviaciones cubitales generando nódulos visibles en las articulaciones. [23]

La inflamación crónica con proliferación sinovial daña los ligamentos y las articulaciones, reduce el deslizamiento de los tendones y provoca la compresión de los nervios y a simple vista se observan compresión en los dedos en algunos casos denominados “cuello de cisne”. [26]



Figura 9. Deformación de las falanges “cuello cisne”

1.6.1. Factores de riesgo de la artritis reumatoide

El principal factor de riesgo indicado por varios autores radicaría en la genética, es decir, se produce debido a los alelos dentro de los cromosomas, pero muchos de ellos mencionan que una persona puede heredar la enfermedad y en otros casos tener artritis, pero no desarrollarla a lo largo de su vida [3]. Otro de los factores de riesgo es el sexo, con una relación de 3 a 1, las mujeres son más propensas a desarrollar esta enfermedad degenerativa, los estrógenos y los anticonceptivos representarían una cierta protección ante la artritis. [9]

El tabaco dentro de estudios de investigación se llegó a una conclusión que las personas con una artritis desarrollada era fumadoras, además de los elevados niveles de estrés presentados en el cuadro clínico. En una escala mucho menor que las nombradas anteriormente, la alimentación jugaría un papel no tan destacado pero representativo en la enfermedad degenerativa. [20]

1.6.2. Estadios de la artritis reumatoide

Según la clasificación establecida del estadio I al IV por varios traumatólogos, en la etapa III de la enfermedad ya se conocen previamente ciertos datos clínicos del paciente, además de establecer los factores de riesgos, la mayoría de los casos debido a factores genéticos. [4]

El estadio III se describe como una etapa que tiene dos subfases: estadio IIIA considerada como moderada y IIIB denominada grave. La articulación permanece inflamada (inflamación crónica) y existe una deformación visible de las articulaciones. Otras características de este estadio es la pérdida del espacio articular observado en radiografías, los síntomas son quejas de dolor constante y limitaciones de movimiento. En este estado considerando el estadio moderado o grave los médicos tratantes optan por intervenir quirúrgicamente observando la historia clínica del paciente. [25]

1.6.3. Artritis reumatoide en las manos

La artritis reumatoide comienza con la inflamación en las articulaciones sus primeros síntomas con la tumefacción de las articulaciones de distintas zonas del cuerpo, en ellas las manos. Esta articulación es importante, en ella se realizan diversos movimientos en la vida cotidiana y la limitación en su

movimiento causas problemas físicos y psicológicos. La artritis reumatoide en las manos compromete seriamente a las articulaciones metacarpofalángicas (nudillos de la mano) y las articulaciones interfalángicas proximales. [15]

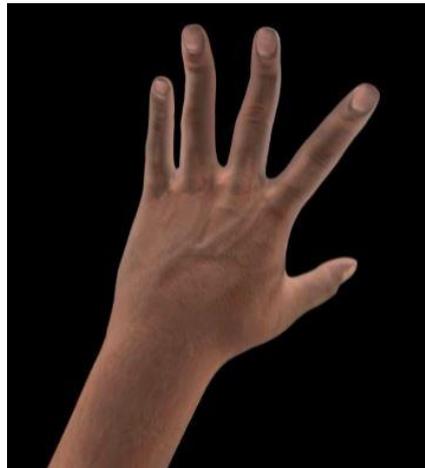


Figura 10. Artritis reumatoide en mano

La enfermedad degenerativa en 90% afecta a las manos. Su rango de movimiento se reduce considerablemente dependiendo del estadio de la enfermedad. Además, el daño de las articulaciones se ha clasificado como la deformidad de Boutonnière. [5]

1.6.4. Deformidad de Boutonnière

Es una deformación en las articulaciones principales de las falanges como consecuencia de la enfermedad degenerativa debido a la presencia de sinovitis en las juntas. Según el estadio de la enfermedad presenta deformidades no corregibles. Las características de Boutonnière son: extensión de la articulación metacarpofalángica, posteriormente flexión de la articulación interfalángica proximal y, por último, una hiperextensión en la articulación interfalángica distal. Según [5] la deformación de Boutonnière representan un 57% de los casos en personas con artritis reumatoide en los manos.

La deformidad leve, como clasificó en 1975 Nalebuff y Millender, presenta una pérdida en su rango de extensión de movimiento entre 10 a 15 grados, además existe cierta flexión pasiva en la articulación interfalángica proximal. La deformidad moderada tiene un cierto grado de pérdida en el movimiento de la articulación metacarpofalángica, también en su articulación interfalángica proximal limitando el movimiento, es decir, una flexión marcada entre 30 y 40 grados. La deformidad severa está caracterizada por una flexión fija en la articulación proximal de las falanges donde ya no se corrige con una extensión pasiva.[24]



Figura 11. Deformación de Boutonnière

1.7. Estado del Arte

Los miembros superiores son importantes en las tareas de nuestra vida cotidiana, no solamente son un tipo de lenguaje de comunicación, sino que nos permite realizar una serie de actividades. Al padecer enfermedades degenerativas estos miembros empiezan a verse afectados en gran magnitud dependiendo de terceras personas. La innovación y avance de la tecnología ha permitido desarrollar nuevos dispositivos útiles para suplir estas carencias.[14]

Uno de los dispositivos más utilizado para aplicaciones dentro de la rehabilitación de miembros superiores, inferiores y problemas de comunicación es el Kinect® desarrollado por Windows. Permite obtener movimientos en tiempo real para todo el cuerpo, pero presenta una desventaja y es el costo representativo. Además, la captura de movimiento en la zona palmar y dedos es baja respecto al dispositivo Leap Motion® creado por Ultraleap®. [10]

Los primeros trabajos involucran a Kinect® para reconocimiento de gestos y diversos movimientos como movimiento de miembros superiores o inferiores, agacharse, etc. Los videojuegos han sido un punto de inflexión importante en el avance tecnológico en el uso de estos dispositivos, permitiendo a personas con enfermedades neurodegenerativas a tratarse para obtener una mejora significativa en su salud como aplicaciones gamificadas usadas para ayudar a resolver un problema común que experimentan muchos supervivientes de accidentes cerebrovasculares sometidos a terapia. [11]

La apertura de nuevos softwares existentes en el mercado (muchos de ellos de libre acceso) permiten involucran muchos dispositivos para lograr un objetivo común como en el caso del estudio realizados por Congyuan Liang (2018) que combina Leap Motion® con MYO Armband® y un entorno grafico como OpenSim® para observar el movimiento en tiempo de real de gestos realizados por la mano. La inclusión de MYO Armband® ayuda a la captura en tiempo real de movimientos realizados por una persona debido a que al entrecruzarse las palmas de las manos Leap Motion® las cámaras infrarrojas no registran el gesto realizado por una persona, además este dispositivo colocado en el antebrazo tiene incorporado un EMG permitiendo captar señales de los músculos todo en tiempo real y registrarlos todo en otro software de procesamiento de datos como es MATLAB®. El entorno VR

(Realidad Virtual) será útil en algunas tareas particulares, como usar Leap Motion® para controlar un robot quirúrgico, para ofrecer una mejor experiencia de manipulación al operador.



Figura 12. Funcionamiento Leap Motion® [13]

Una de las investigaciones biomecánicas en la zona de las falanges en la mano presentada por Chopchuk (2015) menciona las diferentes posturas anormales dentro de la articulación interfalángica proximal y distal. Preparando un pequeño protocolo con valoración de movimientos de flexión, posición neutral, flexión en la articulación metacarpofalángica (nudillos de los dedos) y abducción en el pulgar, el investigador analiza mediante la biomecánica el estado funcional de las falanges en un determinado grupo de sujetos de prueba. [13]

El registro de estos movimientos con personas en tiempo real debido a la utilización de Leap Motion® muestra una base de datos con parámetros y dimensiones útiles para personal de salud como fisioterapeutas, teniendo una referencia en cuanto a rango de movimiento realizado por una persona para flexión, extensión y abducción de las falanges que componen la mano. [28]



Figura 13. Sensor Leap Motion® [12]

Zedong Hu (2017) y su grupo de investigación interactúa mediante OpenSim® para el análisis del movimiento de las articulaciones interfalángicas y metacarpofalángicas de los dedos de la mano utilizando los grados de libertad capturados por Leap Motion® en una interacción humano-computadora. [16]

En el sistema de simulación, Leap Motion® se utiliza para capturar el gesto de la mano humana y controlar el modelo en MATLAB® mediante el movimiento de la mano humana. Según los datos medidos por el Leap Motion®, tras una serie de cálculos, podemos obtener los ángulos articulares de la mano. Una vez los ángulos se calculan correctamente, el modelo seguirá el movimiento de la mano con éxito. El objetivo a largo plazo es realizar tareas complejas mediante manos robóticas utilizando solamente la interfaz de Leap Motion®.[19]



Figura 14. Captura de movimiento en tiempo real [19]

En la investigación de [11] y su grupo de trabajo respecto a la artritis reumatoide idiopática propone una serie de actividades para la rehabilitación de esta enfermedad degenerativa que afecta a jóvenes con el uso del Leap Motion®. Estableciendo un protocolo con ejercicios de extensión/flexión de la muñeca implicando dos de los movimientos principales en la articulación. [1]

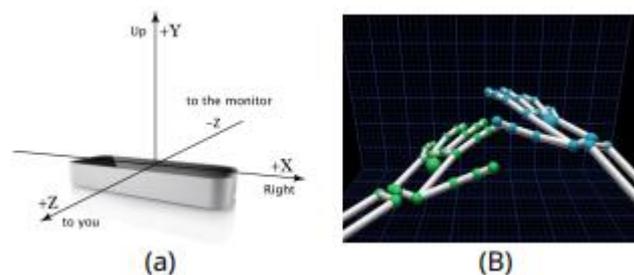


Figura 15. Ejes coordenados en Leap Motion® [11]

Para este tipo de investigación, Leap Motion® recoge datos de movimiento en tiempo real usando Unity® enfocándose en la flexión como en la extensión de la muñeca. La variedad en estas simulaciones permite al sujeto realizar diversas acciones sin tener conciencia de estar realizando una rehabilitación de sus miembros superiores.

Los movimientos complejos provocan esfuerzos grandes en pacientes con la enfermedad y el dispositivo en estudios previos logra mejorar el movimiento en las articulaciones con juegos básicos de terapia.[12]

En 2021, la Universidad Politécnica de Timișoara (Rumania) en base a estudios experimentales opta por utilizar Leap Motion® dentro de sus actividades investigativas en lugar de Kinect de Windows debido a diversas ventajas como reconocimientos de gestos en movimiento en tiempo real contribuyendo a una mejora significativa en la destreza, flexión, extensión y desviación cubital. Las simulaciones están desarrolladas en la plataforma Unity® [29]. Haga clic o pulse aquí para escribir

texto. El uso de esta tecnología logró los siguientes resultados: la fatiga de los dedos fue menor en la mayoría de los casos. El esfuerzo mental realizado por el usuario fue en el 57% de los casos demasiado pequeño. El esfuerzo físico requerido por el usuario fue en la mayoría de los casos pequeño. En cuanto a la fatiga de muñeca, en el 67% de los casos fue pequeña. La mayoría de los usuarios no tenían experiencia en el uso del dispositivo de movimiento de salto, mostraron interés y dieron impresiones positivas. La precisión en la detección de gestos de recuperación es muy alta, superior al 95%, ofrece consistencia en la retroalimentación proporcionada por la aplicación con la ayuda de técnicas de aprendizaje automático.[10]

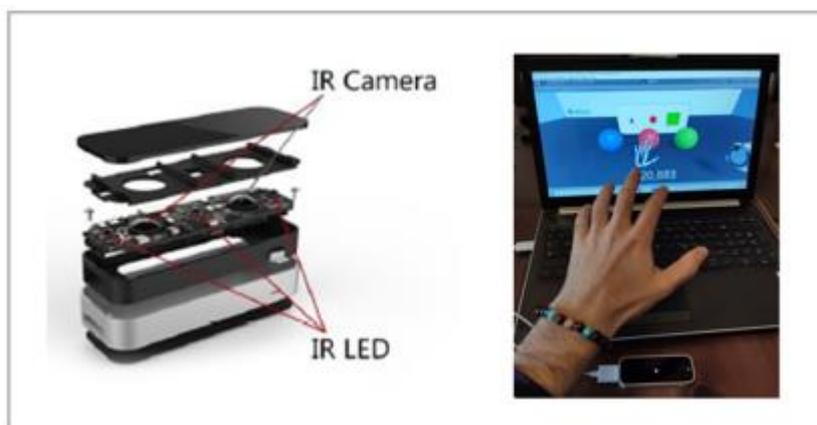


Figura 16. Leap Motion® para videojuegos [8]

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.2. Software

2.2.1. Unity®

Unity® es una herramienta especializada específica en la creación de videojuegos, pero debido a su versatilidad en los últimos años es útil para diversas aplicaciones como ingeniería, campo médico y construcción, optimizando el tiempo en la resolución de problemas. Unity® Technologies® en la actualidad presenta renderización 3D mediante la interacción de otros softwares de desarrollo CAD, este es un paso importante hacia el desarrollo de diferentes aplicaciones tanto para aplicaciones móviles como para ordenadores. Unity® presenta ventajas como la utilización de una interfaz gráfica permitiendo el desarrollo de objetos 3D en tiempo real.[17]

Con la obtención de datos mediante la captura de movimiento proporcionado por MATLAB® se puede registrar en variables vectores tridimensionales necesarios dentro de la interfaz de Unity® para la simulación de una mano genérica produciendo los movimientos establecidos en el apartado 2.4. en tiempo real, y analizar las articulaciones metacarpofalángicas e interfalángicas.

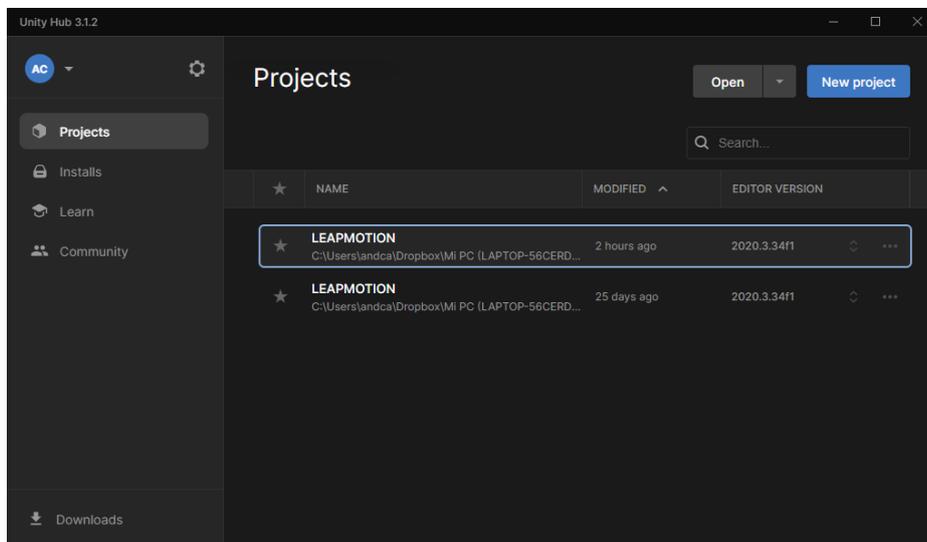


Figura 17. Interfaz de Unity® ®

2.2.2. MATLAB®

MATLAB® es un lenguaje de programación desarrollado por Mathworks permitiendo analizar datos, crear diversos modelos y desarrollar algoritmos. La versatilidad del programa al interactuar con otros lenguajes de programación como Python, C/C+ y/o Fortran. Se puede conectar un hardware por medio de sus complementos o librerías adaptando dispositivos electrónicos a fines con un objetivo en común.[22]

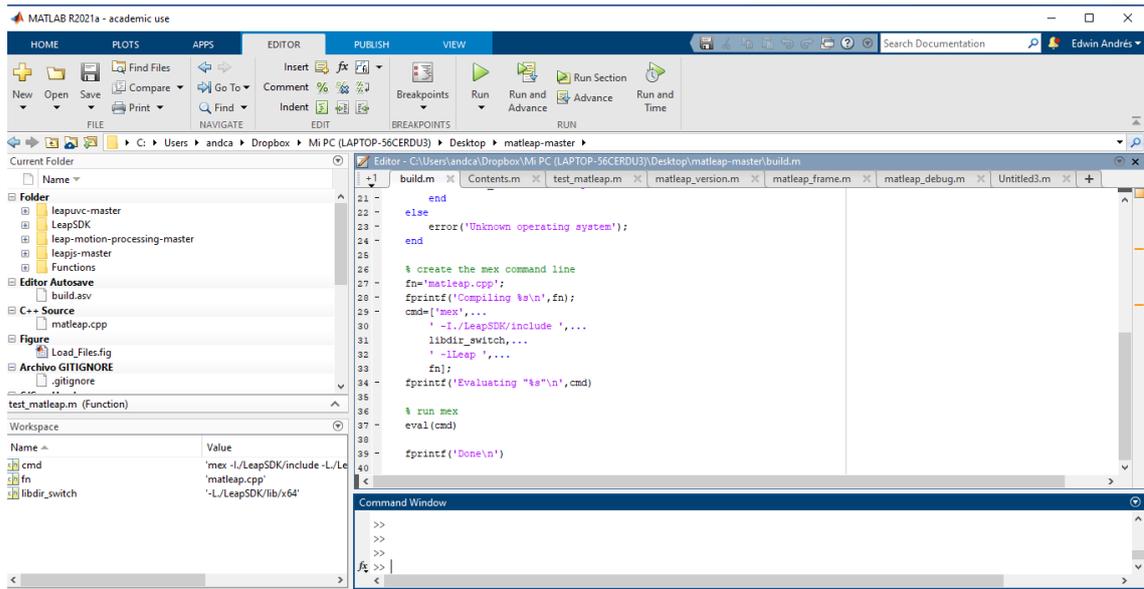


Figura 18. Interfaz MATLAB®

La conexión entre el dispositivo Leap Motion® y MATLAB® permite visualizar de mejor manera los datos, procesarlo y obtener un registro de conjunto de datos necesarios para la valoración de las personas con artritis reumatoide respecto a las personas que no padecen ninguna enfermedad en los miembros superiores.

2.2.3. Leap Motion®

Es un dispositivo electrónico creado por Ultraleap® con captura de movimiento mediante sus dos cámaras y sus tres LED's infrarrojos. El aparato capta los gestos de la mano a un metro de distancia con una precisión media de 0,7 mm. Un algoritmo de seguimiento nos permite estimar la posición y orientación de manos y dedos que son directamente visibles en una representación virtual tridimensional. Leap Motion® reconoce movimientos simples como deslizar, tocar, agarrar y gestos circulares, la interacción sin contacto con pequeños gestos con las manos podría ofrecer oportunidades para las personas con discapacidades.

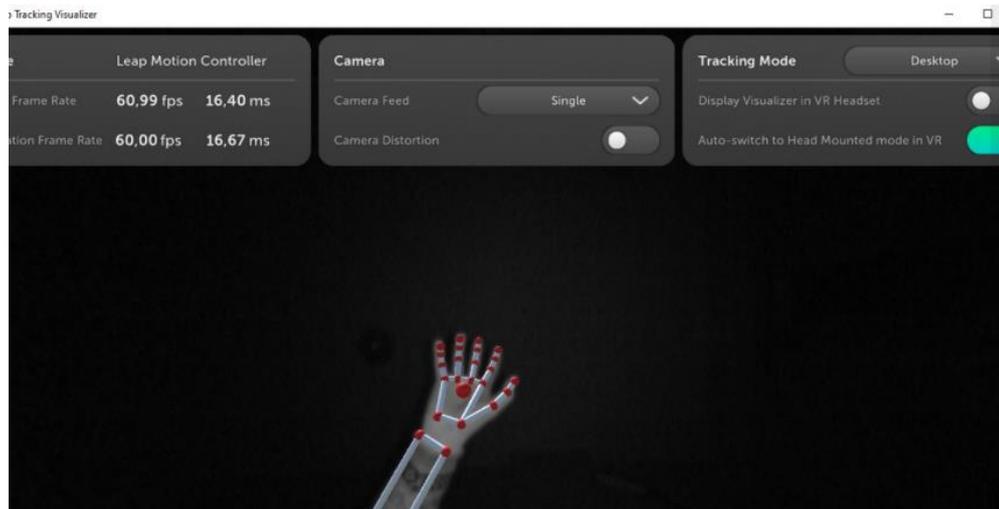


Figura 19. Interfaz Leap Motion®

Leap Motion® nos muestra los gestos de personas en tiempo real y nos proporciona una herramienta importante para la valoración de las personas con la enfermedad respecto a personas sanas mediante la captura de movimientos analizando las características biomecánicas de cada persona.

2.3. Dinamómetro de mano

Es un dispositivo para medir la fuerza de los miembros superiores. Su diseño ergonómico permite colocar la mano y apretar sin ningún tipo de inconvenientes. La lectura permite hasta tres mediciones por cada persona, con un registro máximo de hasta 19 personas con una fuerza máxima de 90kg.



Figura 20. Dinamómetro mano

La valoración de la fuerza contempla dentro del protocolo establecido para este trabajo observando así la magnitud máxima para cada uno de los voluntarios.

2.4. Protocolo

El protocolo consiste en tres etapas funcionales, todas relacionadas con las articulaciones de las falanges concentrándose en los movimientos de flexo-extensión:

Valoración de las articulaciones PIP y MCP

- Amplitud de las articulaciones metacarpofalángicas, análisis en conjunto de dos repeticiones con los metacarpos juntos realizando movimientos confortables, enfocándose en la extensión y flexión.
- Movimiento de la articulación MCP (metacarpofalángica) analizando los 4 metacarpos de manera independiente juntamente con la articulación PIP (interfalángica proximal) con un análisis biomecánico de manera independiente de los 4 metacarpos con movimientos ligeros y suaves
- Movimiento dedo pulgar. Abducción de la primera falange incluido con movimiento de rotación donde Leap Motion® captura el gesto activo de las 4 falanges mas no del dedo pulgar, además, una flexión por parte del quinto metacarpo se realiza de forma suave y ligera permitiendo a la persona lograr el objetivo.

Valoración de Fuerza

- Colocar las falanges en el dinamómetro (junto al manguito del aparato) y apretar lo más fuerte posible una vez que el instrumento este calibrado y encendido. Se repite esta acción 3 veces y obtener una fuerza promedio.
- Prueba de puño. Interviene todas las falanges de la mano con movimientos flexionar completamente la mano de forma suave y ligera, la observación en el pulgar en este movimiento está determinada por el dinamómetro de mano. El objetivo es cerrar completamente la mano para verificar el estado de la articulación.



Figura 21. Valoración del movimiento con el protocolo

2.5. Conexión MATLAB® con Leap Motion®

MATLAB® necesita librerías para permitir la comunicación para la captura de datos realizados por los gestos de movimiento en tiempo real. El sitio web especializado (<https://github.com>) nos proporciona las librerías, en ellas dependiendo las actualizaciones disponibles, se van modificando los archivos de las librerías como en este caso, realizando un script e incluyendo una función

“get_version” se establece la comunicación entre el hardware (Leap Motion®) y el software (MATLAB®).

El dispositivo captura la posición, velocidad y dirección de la mano dentro del espacio tridimensional. La colocación del Leap Motion® es esencial para la captura en tiempo real de los gestos de la mano debido a sus dos cámaras Led's, con su captura prismática la distancia aproximada para la obtención de datos es de 25 cm aproximadamente.

La evaluación y valoración de los movimientos biomecánicos descritos en el protocolo establece una serie de movimientos centrados en las articulaciones metacarpofalángicas e interfalángicas que comúnmente afecta al estadio III de la enfermedad.

La ventaja de utilizar Leap Motion® con MATLAB® es la obtención de datos según los gestos de movimientos en tiempo real con una interpretación en Command Window de los dedos flexionados y extendidos mediante una variable binaria. Nos presenta variables medibles centrándose específicamente en la posición y la velocidad, parámetros importantes para el análisis en movimiento de flexo-extensión general de la mano evaluando el comportamiento tanto en personas sanas como en personas con artritis reumatoide. Otra de las ventajas de la conexión proporcionada por MATLAB® es la programación de un script capturando todos los datos del protocolo con mediante una variable. Así cada gesto realizado presenta una organización de variables como las coordenadas en tres dimensiones de las articulaciones metacarpofalángicas e interfalángicas y la rotación producida por un determinado movimiento, también guarda los datos obtenidos por los movimientos realizados en la palma de la mano y la articulación de la muñeca.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Muestra y obtención de datos

Los voluntarios comprenden edades de 40 a 60 años entre hombre y mujeres. El estudio abarca 10 personas con artritis reumatoide de las cuales 3 presentan deformación de Boutonnière. Es un parámetro importante conocer este tipo de deformidades que a futuro nos proporcionarían una información acerca de variables como la posición y velocidad. Es importante mencionar que la Fuerza es un dato establecido mediante una media aritmética por lo tanto sería una constante para el estudio. Dentro del análisis observacional 2 voluntarios con la enfermedad degenerativa participaron para un estudio adicional que consiste en la toma de datos en un centro de rehabilitación y posterior a un mes de realizar la fisioterapia con las indicaciones del profesional obtener la segunda información en base al protocolo establecido en el punto 2.4. realizando una comparativa para observar el movimiento con los mismos parámetros mencionados anteriormente.

Los voluntarios se dividen en un grupo de enfermos y otro de sanos. La obtención de datos obtenida en el punto anterior nos da una identificación particular a cada uno. En el consentimiento informado los voluntarios indican que cierta información no será proporcionada dentro del presente trabajo. Para cada sujeto de prueba existe una posición en sus tres coordenadas al igual que la velocidad en función al número de puntos obtenidos previamente con la conexión entre Leap Motion® y MATLAB®. En cada gráfica el análisis consiste en comparación de los movimientos de flexo-extensión de las articulaciones metacarpofalángicas e interfalángicas respecto de personas con la enfermedad degenerativa con paciente sanos con cierta similitud tanto en sexo como en edad. La comparativa se realiza con características similares, es decir, se muestra primero los pacientes con artritis reumatoide y posteriormente los pacientes sanos con las identificaciones asignadas en el estudio que irán variando según la toma de datos de los voluntarios.

Nota: La escala de las gráficas de la variable posición determinan la ubicación de la mano respecto al sensor Leap Motion®, la escala en la flexo-extensión indica la uniformidad y suavidad del movimiento referenciado por la variable velocidad para visualizar la generación del movimiento en ciertas instancias. Algunas velocidades negativas especialmente en el eje Y corresponden a la localización del sensor.

3.1.1. Análisis gráficas posición y velocidad en pacientes con artritis reumatoide

3.1.1.1. Voluntario 1: Hombre de 53 años con artritis reumatoide

Voluntario 1 asignado trata de una persona con deformidad de Boutonnière leve en las manos. Durante observación en la toma de datos con Leap Motion® los movimientos de flexo-extensión en la articulación metacarpofalángica realizado por el voluntario presentan muchas limitaciones en cuanto a la coordinación, son demasiado lentos y así se refleja dentro de la variable “sav” guardada en MATLAB®. Para el movimiento de las articulaciones interfalángicas en la tercera hasta la quinta falange, el movimiento ya presenta mucha limitación y el rango de movimiento no realiza completo, Leap Motion® al capturar datos de la apertura y cierre de los dedos de la mano reconoce o no el gesto como un dato binario y no como una media.

La gráfica de la posición dentro sus coordenadas tridimensionales las establecen según el registro de datos del software de captura de movimiento.

Los movimientos son constantes en el paciente con artritis para el primer caso. Para la variable de velocidad se muestra en un pico considerable donde el análisis del punto respecto a los registros de MATLAB® señala a la tercera falange y su movimiento lento como se menciona al principio de este apartado debido a la deformidad e inflamación visibles en la interfalángica proximal.

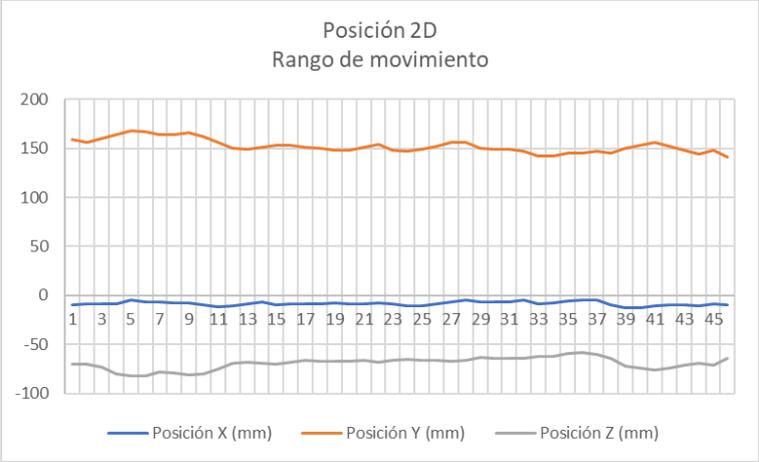


Figura 22. Posición 2D persona 53 años con AR

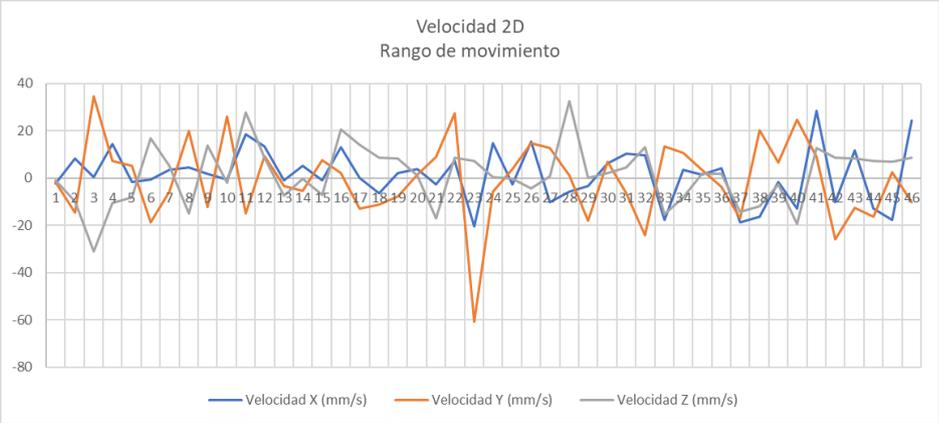


Figura 23. Velocidad 2D persona 53 años con AR

Numero de manos: 1

Mano: 1

Posición: -8.852150 148.235153 -65.886276

Velocidad: -20.461700 -60.743546 7.252818

Orientación: -0.135905 0.084694 -0.079587 0.983881

Dedos levantados: 5

Dedos: 1 1 1 1 1

Numero de manos: 1

Mano: 1

Posición: -10.710413 147.449448 -65.016068

Velocidad: 14.909218 -5.819455 0.508665

Orientación: -0.139495 0.081986 -0.097165 0.982028

Dedos levantados: 5

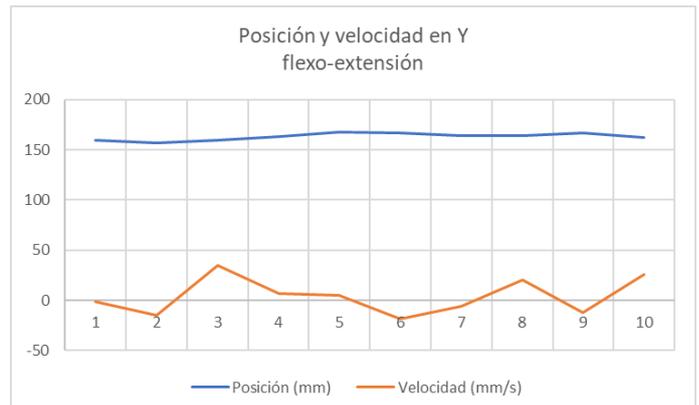
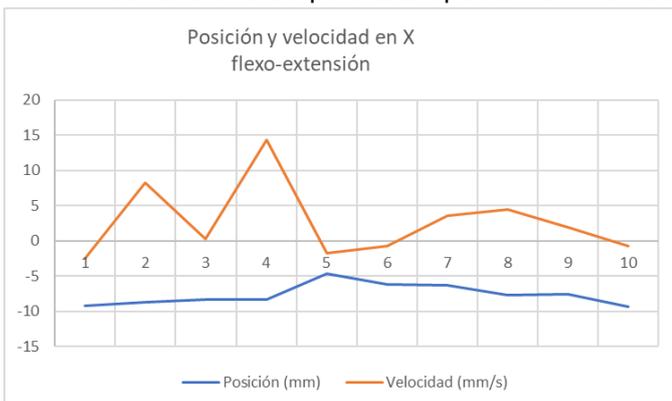
Dedos: 1 1 0 1 1

Figura 24. Análisis articulaciones interfalángicas

3.1.1.1.1. Análisis flexo-extensión voluntario 1

La finalidad del movimiento flexo-extensión merece un análisis particular involucrando directamente a la articulación metacarpofalángica. Este movimiento es de mayo limitación en las personas que padece de la enfermedad degenerativa porque en la zona de la articulación presentan inflamaciones visibles por la mañana, mientras se tomaron los datos, se muestra menor inflamación. En otros voluntarios ocurría lo contrario.

La amplitud de movimiento es producida muy lentamente, para lograr apretar y cerrar el puño el voluntario con una enfermedad en estadio III realiza mucho esfuerzo para lograr el objetivo. En este caso el registro es de 10 datos, esto se conoce a través del Command Window de MATLAB®, es decir, el dato binario se mantiene en 1 para extensión y cuando ha logrado la flexión cambia a 0. Con ello, facilita el análisis para este tipo de movimientos.



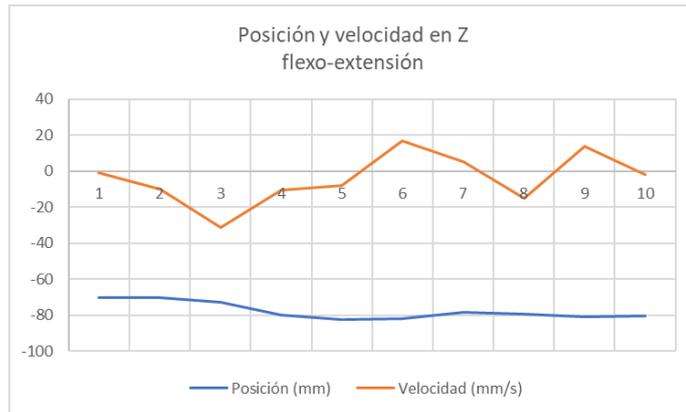


Figura 25. Análisis flexo-extensión hombre 53 años enfermo

La posición como se esperaba a priori tiene picos en los 3 ejes coordenados y eso muestra las limitaciones del voluntario al realizar estos movimientos de flexo-extensión. Cabe mencionar que en el transcurso de la toma de datos su estado de salud pasaba por ciertas complicaciones, una de ellas la inflamación moderada sufrida tanto en las articulaciones metacarpofalángicas como en las interfalángicas. La velocidad del movimiento es casi constante, en el cambio de movimiento es decir cuando ya ha cerrado el puño presenta cierto cambio de velocidad en el eje X producto del movimiento intuitivo al reestablecer la extensión para abarcar todo el rango de flexo-extensión.



Figura 26. Manos hombre 53 años enfermo

3.1.1.2. Voluntario 2: Hombre de 54 años con artritis reumatoide

Persona con una enfermedad avanzada a pesar de su corta edad, dentro de sus comentarios explica la elección de la medicina natural, sus articulaciones metacarpofalángicas poseen un grado de inflamación pronunciado, además sus muñecas debido a la interrupción de la medicación indicada por los traumatólogos presentan zonas con edemas en ambos brazos. La deformidad de Boutonnière hacen que sus falanges estén completamente unidas en estado de reposo y limitación al realizar movimientos que implique las articulaciones interfalángicas. Padece la enfermedad desde hace 23 años, al momento de obtener los datos de gestos en tiempo real prefiere utilizar su mano izquierda indicando mejoras en esa zona. Las principales características del movimiento realizado por el

voluntario son los picos altos en la toma de datos registrados en Leap Motion®. En el movimiento para la valoración de las articulaciones interfalángicas, claramente se puede observar la limitación del paciente al realizar un movimiento de flexión en cada una de las falanges de la mano izquierda. Es un caso crítico, el cambio de velocidad marcado en los picos de velocidad se debe a un movimiento brusco hasta conseguir el objetivo. Dentro del estudio observacional se ha mencionado tomar el tiempo necesario pero la necesidad de conseguir llegar a lo propuesto en el protocolo hace que la persona después de la toma de datos presente un dolor leve y pasajero.

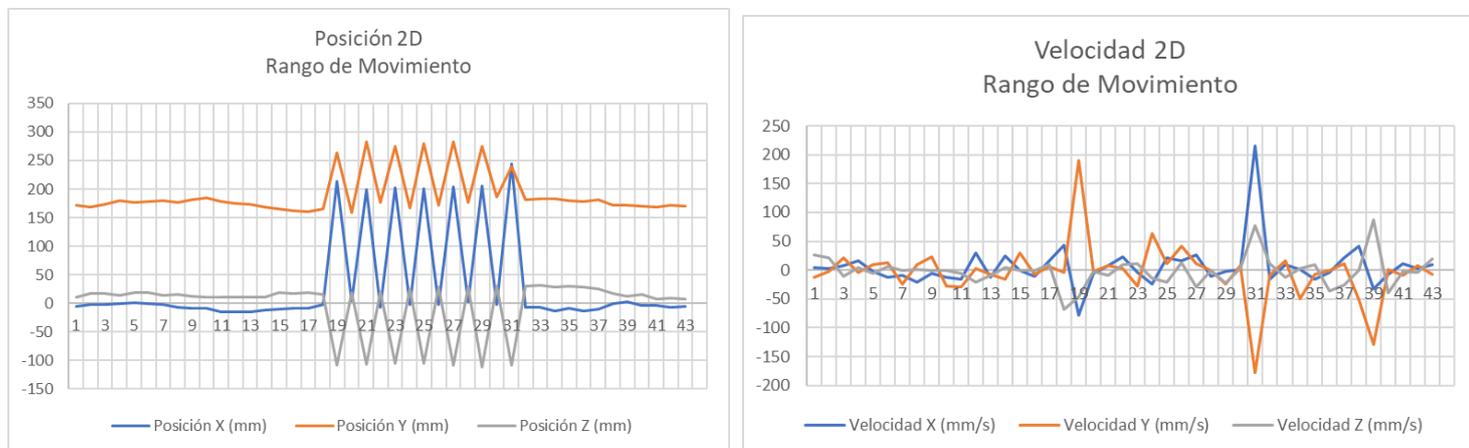


Figura 27. Velocidad y posición 2D persona 54 años Artritis reumatoide

3.1.1.2.1. Análisis flexo-extensión voluntario 2

Las articulaciones en la mano izquierda al presentar una inflamación restringiendo la amplitud del movimiento, la tumefacción de las muñecas y edemas en otras zonas del brazo hacen que la deformación de Boutonnière sea severa no presenta cuello de cisne, pero sus articulaciones están muy desgastadas provocando contracción en las falanges distales y mediales. Por lo tanto, en el rango de flexión extensión realiza sin ningún problema, pero el movimiento de extensión no lo realiza como otros pacientes con la enfermedad, al recoger instintivamente la mano intenta llegar a producir el movimiento, pero su limitación es alta provocando cambios en su velocidad, algo entendible debido al estado en el que se encuentra actualmente y observable en los datos obtenidos a través de sus coordenadas espaciales.



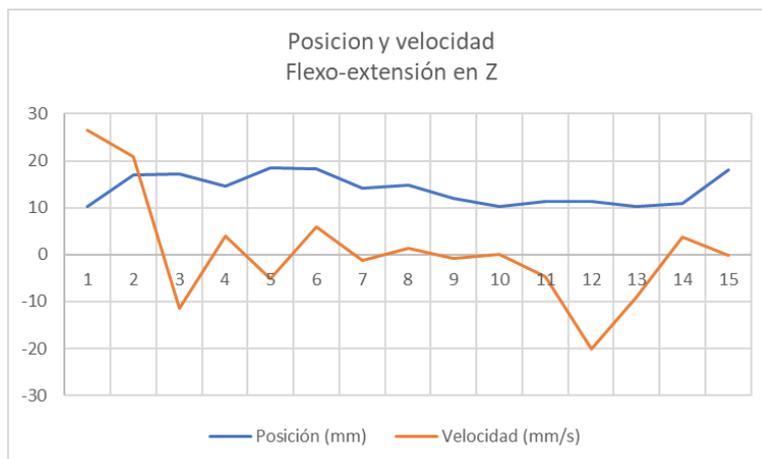


Figura 28. Análisis flexo-extensión hombre 53 años enfermo



Figura 29. Manos hombre 54 años enfermo

3.1.1.3. Voluntario 3: Mujer de 67 años con artritis reumatoide

Voluntario 3 con la enfermedad presenta las mismas complicaciones de la persona con 53 años, según lo comentado por la voluntaria no utiliza medicación y dentro de sus labores cotidianas exigentes en la agronomía hacen que sus manos presenten un grado de inflamación en la toma de datos. Las articulaciones interfalángicas proximales tienen ligera tumefacción limitando el movimiento al evaluar esta zona de las manos. La deformación de Boutonnière no es demasiado visible y sus articulaciones metacarpofalángicas según la voluntaria no le causaba problemas.

Las capturas de gestos en tiempo real constan de 60 puntos al realizar todo el protocolo indicado en la sección 2.4. En este caso al flexionar las articulaciones interfalángicas el movimiento es lento y las coordenadas en posición reflejan una similitud al voluntario anterior no así la velocidad que

mantiene una oscilación estable. La posición en cada coordenada espacial en este caso presenta oscilaciones variables debido al comportamiento e inflamación de las articulaciones interfalángicas en la mano de la persona desde el movimiento de flexo-extensión hasta la valoración de las falanges proximales y mediales dentro del protocolo establecido. Es un caso similar al Voluntario 1 con deformidad de Boutonnière severa.

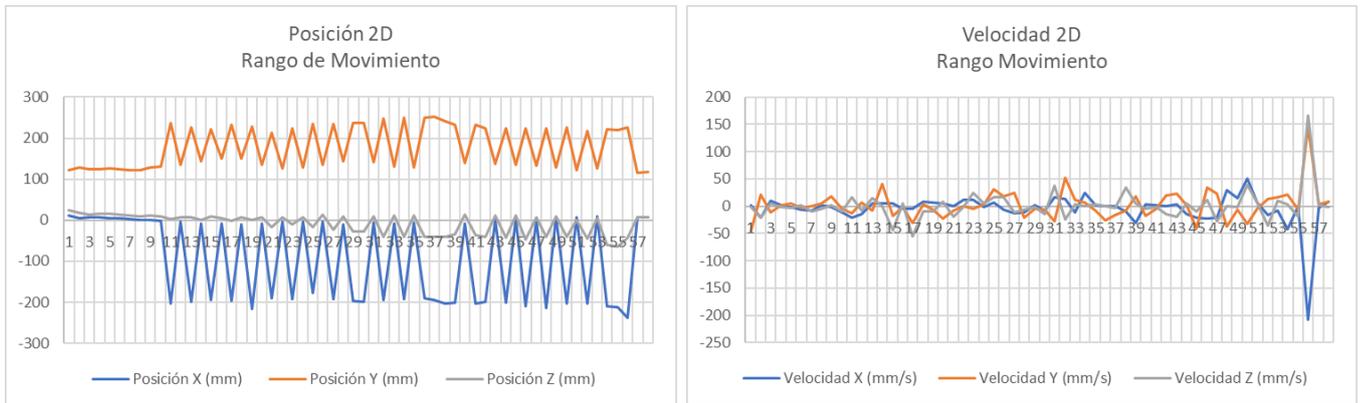
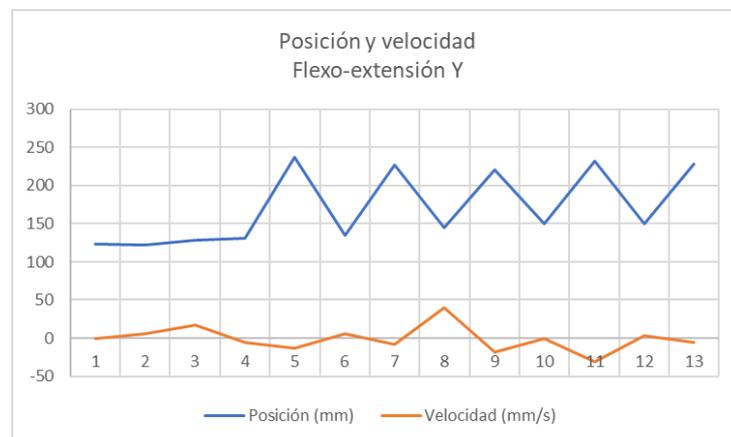
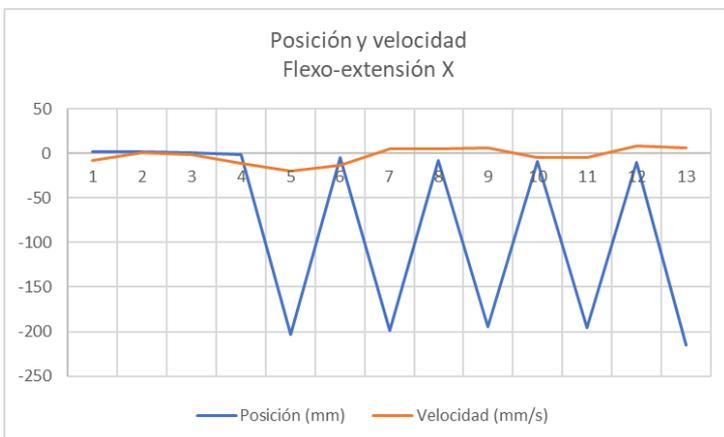


Figura 30. Análisis posición y velocidad mujer 67 años artritis reumatoide

3.1.1.3.1. Análisis flexo-extensión voluntario 3

La particular en el caso de la voluntaria presentando un cuadro de artritis reumatoide en estadio III con inflamación en las articulaciones interfalángicas complica seriamente sus movimientos de flexo-extensión en la mano derecha (mano utilizada por la persona a criterio propio). Salvo las coordenadas X e Y con movimientos casi constantes respecto a la variable de velocidad son los puntos importantes para destacar como positivos, los picos pronunciados en este caso respecto a la posición indican movimientos limitados para lograr el objetivo para flexionar en primer lugar y posterior a ello los movimientos de extensión abarcando así el rango analizado en este apartado.



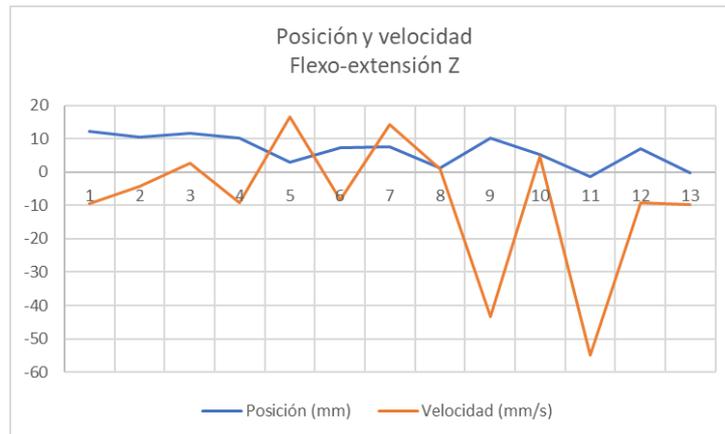


Figura 31. Análisis flexo-extensión mujer 67 años enferma

El rango de amplitud solo para el movimiento de flexo-extensión en la mano tiene oscilaciones por el movimiento lento causadas por la tumefacción al momento de la captura de datos, la voluntaria no explica las razones de uso de medicamento o no para conocer cómo controlar la enfermedad o en este caso para la inflamación en las articulaciones que afectan a otras zonas del cuerpo.



Figura 32. Mano mujer 67 años enferma

3.1.1.4. Voluntario 4: Mujer de 94 años con artritis reumatoide

El caso presentado por la voluntaria con condiciones lucidas a pesar de la edad es asombroso, al momento de la toma de datos la mujer estaba en estado de reposo previo, mencionando la actividad de la persona, es decir, realiza diversos movimientos con total normalidad como caminar o el aseo parcial de su domicilio. La información con personas cercanas a la mujer con la enfermedad degenerativa, su estado de salud actual responde a causas de la alimentación y el constante movimiento de sus articulaciones con acciones intercaladas en su día en el trabajo en el campo como en sus actividades en al hilar lanas de animales, por esta razón la motricidad está intacta. Al evaluar el movimiento de las manos prefiere realizar movimientos repetitivos previos con la ayuda de un familiar. La evaluación en la variable de posición es constante durante todo el rango de movimiento

establecido en el protocolo. En la velocidad presenta picos altos durante la toma de datos debido a su coordinación asumiendo causas de la edad con movimientos más suaves y lentos respecto de los demás pacientes. En la velocidad claramente se observan fluctuaciones por las causas de sus movimientos logrando paulatinamente el objetivo y con el rango completo de movimiento sin ayuda de tercero salvo para comprender lo establecido por el protocolo. La acción suave y paulatina del movimiento de sus falanges componen variaciones casi inexistentes en la valoración de la posición dentro de sus coordenadas espaciales.

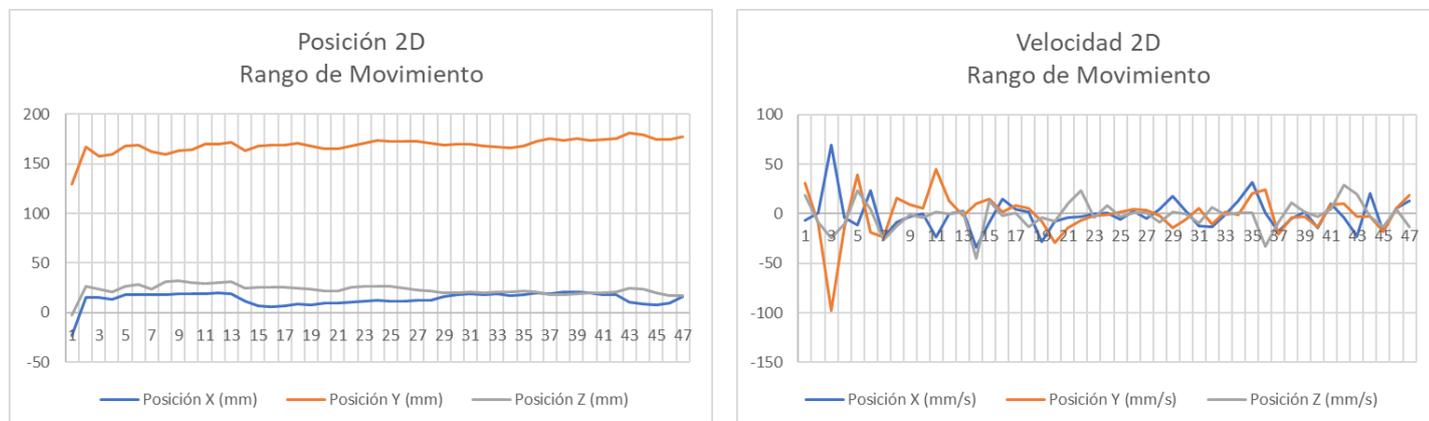
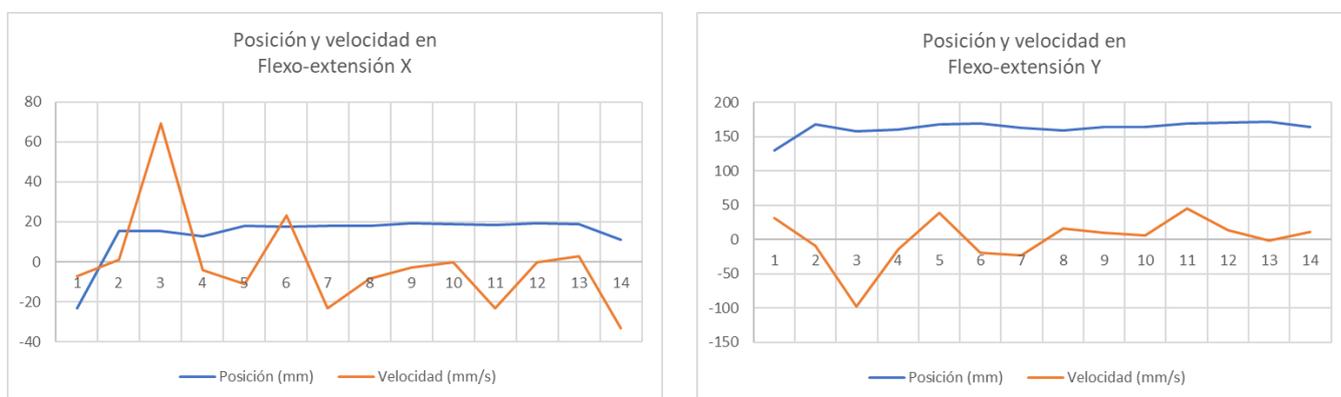


Figura 33. Posición y velocidad mujer 94 años con la enfermedad

3.1.1.4.1. Análisis flexo-extensión voluntario 4

A consecuencia de los movimientos suaves, pero con el objetivo cumplido, la mujer de 94 años presenta un movimiento de flexo-extensión normal. Sus articulaciones tanto interfalángicas como metacarpofalángicas no han sufrido mayores tumefacciones a lo largo de su vida, es más, dentro de la deformidad leve de Boutonnière sus movimientos son lucidos excepto por lentitud de los mismo al evaluar esta acción.



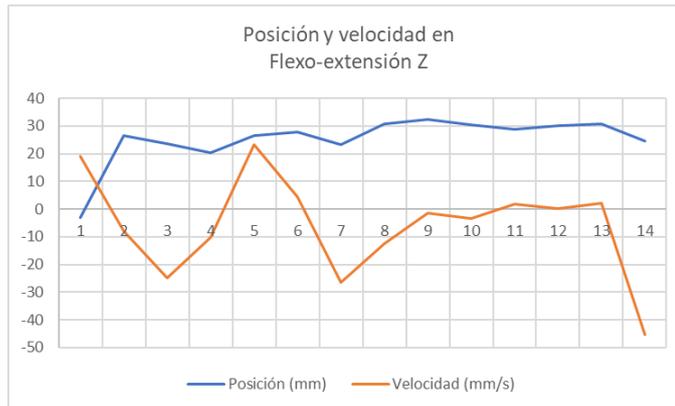


Figura 34. Análisis flexo-extensión mujer 94 años enferma

La velocidad en sus tres coordenadas cartesianas varía fluctuando en varias posiciones, esto se debe a la lentitud del movimiento, a consecuencia de la edad la actividad muscular disminuye por esta razón las acciones dentro de la amplitud de este rango son limitadas, pero dentro de la evaluación de la posición es casi constante.



Figura 35. Manos mujer 94 años enferma

3.1.1.5. Voluntario 5: Mujer de 50 años con artritis reumatoide

El Voluntario 5, según menciona en la previa de la toma de datos, la enfermedad la detectaron hace 3 años, ella controla la enfermedad con medicación, presenta inflamación leve en las articulaciones metacarpofalángicas. Menciona sus diferentes dolores en las manos como consecuencia de la enfermedad degenerativa, sin la medicación indica que sus articulaciones se inflaman y esto le sucede a menudo a causa del descuido en su medicación, pero apenas ingiere el medicamento desaparecen estos dolores y tumefacciones en diversas zonas del cuerpo afectando ampliamente a sus manos.

Durante la captura de datos la voluntaria ha tomado su medicación, la indicación del protocolo para la evaluación de diversas articulaciones no presenta problemas al realizarlo, sus movimientos se

limitan cuando realiza la apertura y cierre del puño mencionando un dolor leve al generar esta acción. Al realizar los movimientos de las articulaciones interfalángicas también menciona su limitación indicando dolor en la segunda, tercera y cuarta falange.

Con la presencia de ciertos dolores, generación de movimiento pausado, suave y con el tiempo necesario para su evaluación, la variable de posición logra el objetivo planteado del protocolo, los datos mostrados indican la normalidad del movimiento. La velocidad a causa de la inflamación leve provoca cambios en esta variable, pero dentro de un rango aceptable, diferente de casos anteriores.

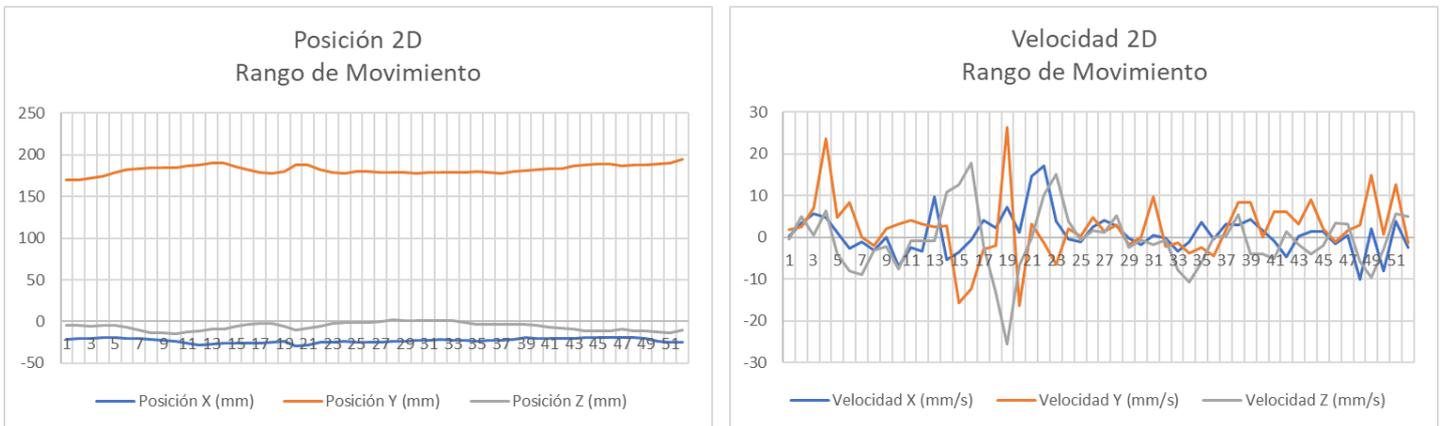


Figura 36. Posición y velocidad persona 50 años con artritis reumatoide

3.1.1.5.1. Análisis flexo-extensión voluntario 5

La producción de los movimientos de flexo-extensión en la voluntaria valorando las articulaciones interfalángicas y metacarpofalángicas presenta una continuidad en el movimiento, las posiciones dentro de sus coordenadas espaciales son constantes en su mayoría, en la evaluación de la velocidad corresponde a sus pequeñas fluctuaciones al realizar la flexión por movimientos instintivos al extender la mano para regresar a una posición de reposo.

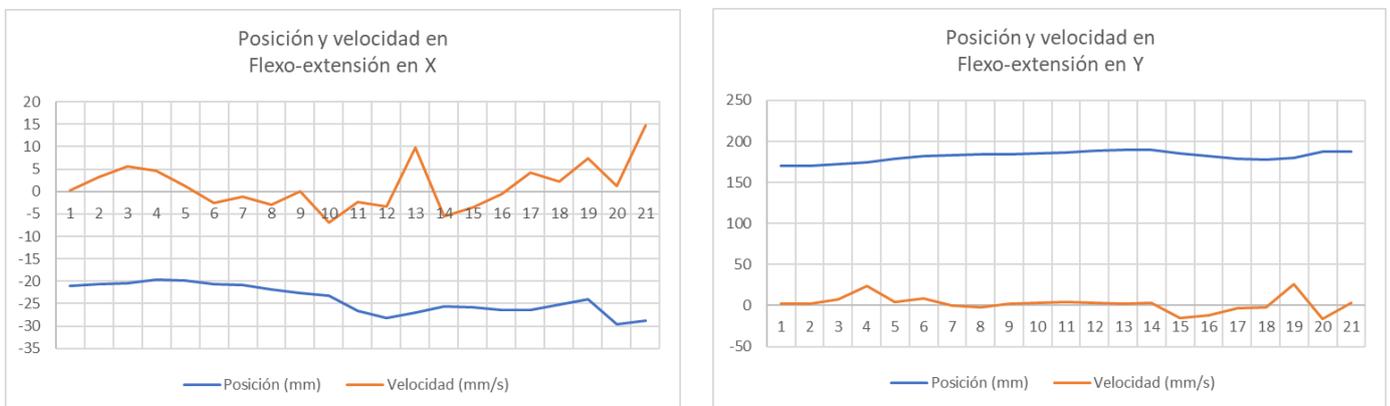




Figura 37. Análisis flexo-extensión mujer 50 años enferma



Figura 38. Mano mujer 50 años enferma

3.1.1.6. Voluntario 6: Mujer de 40 años con artritis reumatoide

Voluntaria con la enfermedad detectada hace unos meses atrás con la actualidad del trabajo, indica presencia de dolor muy esporádicamente y por ahora no se le asigna un tratamiento hasta la espera de la evaluación del traumatólogo de confianza. Las articulaciones no presentan tumefacción en las zonas de principal análisis y evaluación por parte del protocolo.

La posición durante la captura de datos en tiempo real por parte de la valoración biomecánica de su mano presenta continuidades, es decir, su movimiento es constante y así lo refleja la gráfica correspondiente a la variable tratada. Respecto a la velocidad existe un pico muy alto después de la valoración del movimiento de flexo-extensión y se trata de un movimiento voluntario al extender la mano lo más rápido posible, consecuencia a esto presenta una alteración causada principalmente por flexión de la primera (movimiento natural), cuarta y quinta falange (recoge las falanges muy rápido para después extenderlas suavemente)

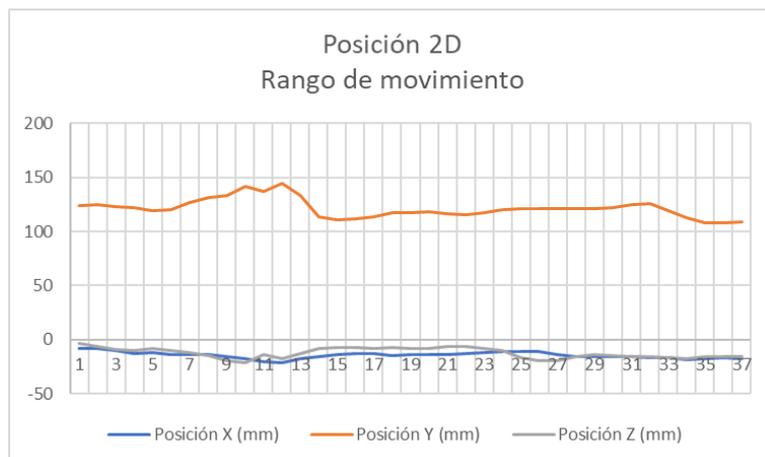


Figura 39. Análisis posición persona 40 años enferma

1x13 struct array with fields:

```
id
timestamp
hands
version
```

impresion =

0

Numero de manos: 1

Mano: 1

```
Posicion: -21.566217 144.859924 -17.340797
Velocidad: -2.946248 110.563286 -35.532272
Orientacion: 0.119404 0.091112 -0.125919 0.980605
Dedos levantados: 0
Dedos: 0 0 0 0 0
```

1x14 struct array with fields:

```
id
timestamp
hands
version
```

impresion =

0

Numero de manos: 1

Mano: 1

```
Posicion: -17.591713 133.071213 -12.809418
Velocidad: 7.654787 -39.565437 34.841633
Orientacion: 0.073898 0.041615 -0.111904 0.990093
Dedos levantados: 2
Dedos: 0 1 1 0 0
```

Figura 40. Posiciones obtenidas de MATLAB® 40 años enferma

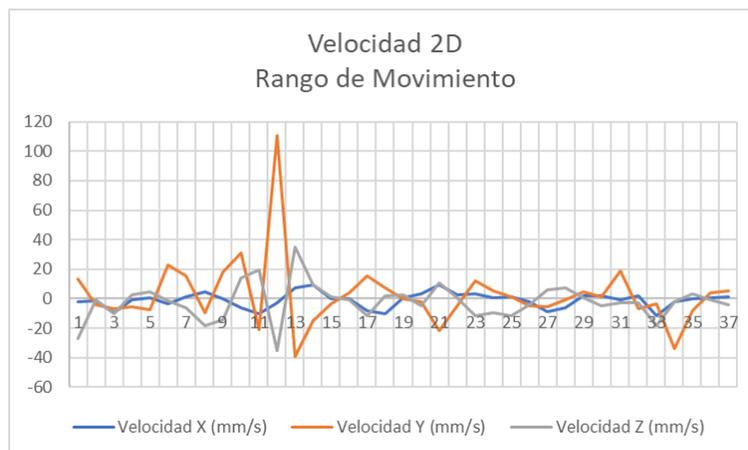


Figura 41. Análisis velocidad persona 40 años enferma

3.1.1.6.1. Análisis flexo-extensión voluntario 6

La persona con la enfermedad degenerativa con estadio I no presenta muchas limitaciones al realizar el movimiento de flexo-extensión. Tanto su posición presenta una continuidad de movimientos logrando lo planteado en el protocolo para la valoración en las articulaciones metacarpofalángica e interfalángica. La velocidad generada a través de esta acción es pausada, se puede observar que existe picos discontinuos, pero no cambios extremos porque a cada voluntario se pide una generación de movimientos lentos y suaves tomando el tiempo que crean conveniente.

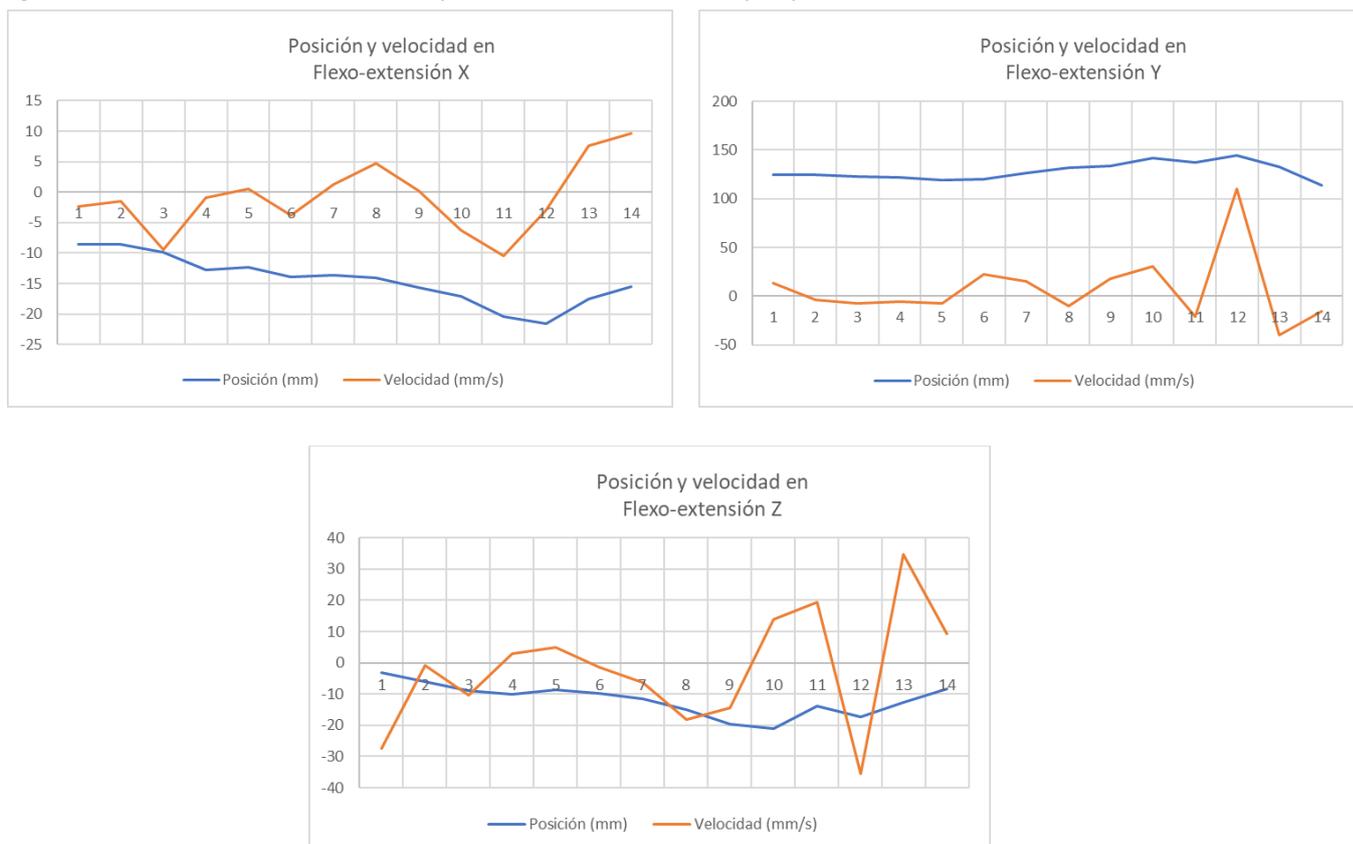


Figura 42. Análisis flexo-extensión mujer 40 años enferma



Figura 43. Mano mujer 40 años enferma

3.1.1.7. Voluntario 7: Mujer de 43 años con artritis reumatoide

Voluntario 7 no tiene inflamaciones en sus manos, su motricidad la mantiene intacta gracias a su actividad laboral. Utiliza sus manos constantemente y hace que las articulaciones en esta zona se mantengan activas durante su jornada de trabajo. La persona decide entregar un poco más de información acerca de su estado en la enfermedad, como menciona está en un estadio I con una detección de la enfermedad mediante exámenes hace años aproximadamente. El factor de riesgo principal quizá para padecer de la enfermedad viene de su árbol genealógico, su mamá y su hermana (con un estadio grave) presentan artritis reumatoide. La persona es no fumadora, durante su vida no ha consumido un cigarrillo y tampoco bebe alcohol, pero está expuesta al polvo por su trabajo diario.

Sus movimientos respecto a la posición mantienen una continuidad a lo largo del protocolo, a lo largo de la posición en Y es por la posición de la mano en cuanto a la altura para la captura de datos en tiempo real de Leap Motion®, al inicio de la obtención de datos su mano está junto al dispositivo y ciertos datos no ayudan con el análisis, se realizó un preprocesamiento de datos en este caso. En la velocidad si presentan cambios oscilatorios considerables a causa del movimiento de flexo-extensión muy rápido, en 4 captura de datos realizó la extensión de la mano y posteriormente la flexión hasta volver a extender sus falanges completamente, esto se debe al funcionamiento continuo en sus articulaciones por la actividad (estaba realizando previamente su jornada de limpieza) proporcionando así una movilidad en su mano como una persona sana.

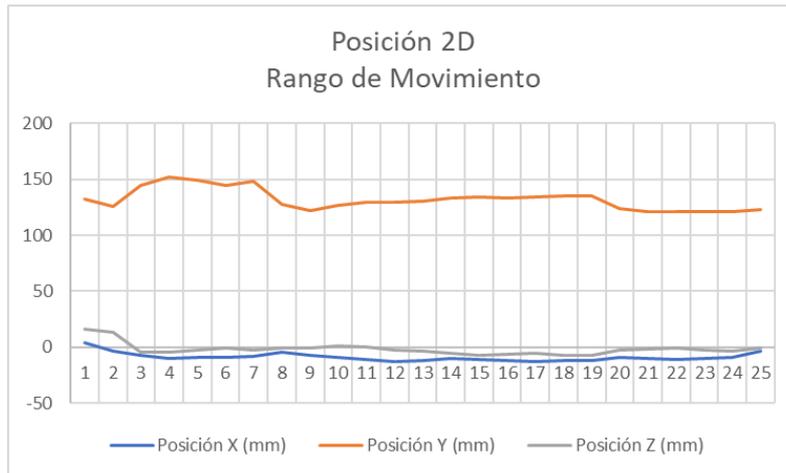


Figura 44. Análisis posición persona 43 años enferma

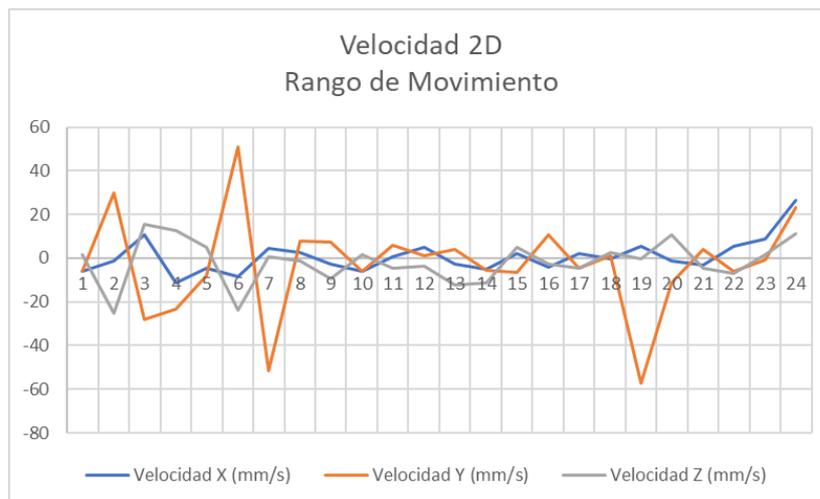


Figura 45. Análisis velocidad persona 43 años enferma

3.1.1.7.1. Análisis flexo-extensión voluntario 7

El rango de flexo-extensión de la voluntaria con artritis reumatoide presenta un movimiento instantáneo al extender sus falanges y cerrar las mismas provocando una flexión de las articulaciones interfalángicas y metacarpofalángica, su motricidad hasta la actualidad está intacta presentando una amplitud de movimiento constante para la variable de posición y ciertas variaciones en la velocidad debido a la acción rápida producida por la persona. Tanto en el eje X y Z respecto a la cara palmar permite el movimiento de flexo-extensión en el plano frontal tiene picos por la rapidez de la acción generada por la voluntaria

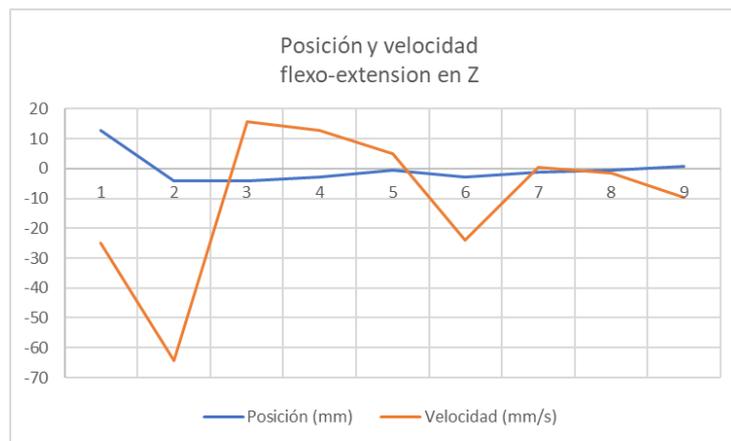
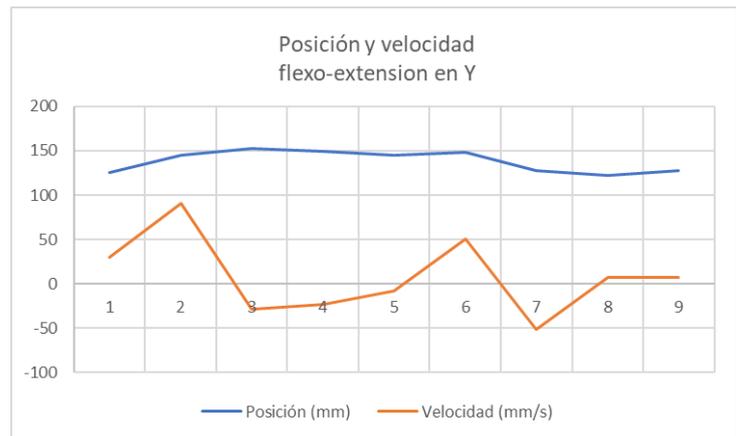
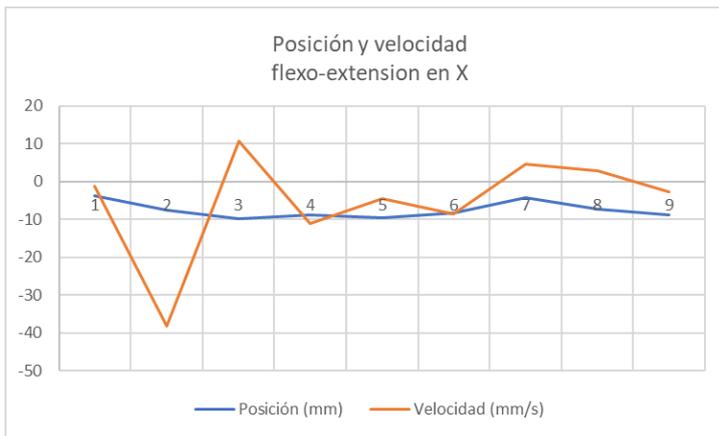


Figura 46. Análisis flexo-extension mujer 43 años enferma



Figura 47. Manos mujer 43 años enferma

3.1.1.8. Voluntario 8: Mujer de 74 años con artritis reumatoide

Es un caso donde padece de la enfermedad, pero no ha sido desarrollada por motivos desconocidos, las ligeras inflamaciones en las articulaciones interfalángicas son los signos visibles de la enfermedad. Para la valoración de los movimientos en base al protocolo del punto 2.4. la voluntaria no tiene problemas en realizar los movimientos. El análisis en la variable de posición no presenta complicaciones significativas, los datos obtenidos para cada uno de los ejes cartesianos presentan una continuidad sin oscilación a lo largo de la amplitud del movimiento. La valoración de la velocidad durante la obtención de datos en tiempo real mediante Leap Motion® tiene un pico pronunciado entre el punto 16 y 17 correspondiente a la flexión completa de las falanges y su posterior extensión con la ayuda de la articulación metacarpofalángica. El movimiento lo realiza con una rapidez considerable y se refleja en la gráfica. Los demás movimientos los realiza de manera suave y lenta

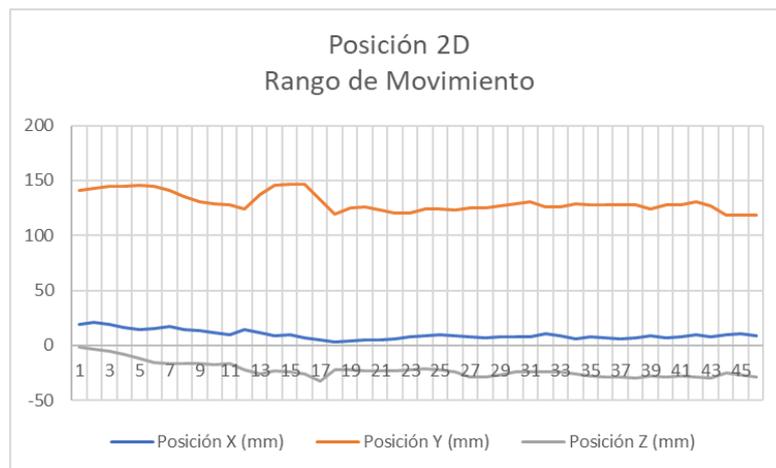


Figura 48. Análisis posición persona 74 años enferma

```

1x16 struct array with fields:
    id
    timestamp
    hands
    version

Numero de manos: 1
Mano: 1
    Posicion: 4.630963 132.304977 -32.115860
    Velocidad: -69.932472 -317.136414 96.140686
    Orientacion: 0.037710 0.145455 -0.224988 0.962705
    Dedos levantados: 1
    Dedos: 0 0 0 0 0

sav5 =
1x17 struct array with fields:
    id
    timestamp
    hands
    version

Numero de manos: 1
Mano: 1
    Posicion: 3.108254 119.423393 -21.913507
    Velocidad: -4.913149 11.780888 5.748451
    Orientacion: -0.046291 0.150729 -0.136387 0.978027
    Dedos levantados: 5
    Dedos: 1 1 1 1 1
    
```

Figura 49. Posiciones de los movimientos en MATLAB®

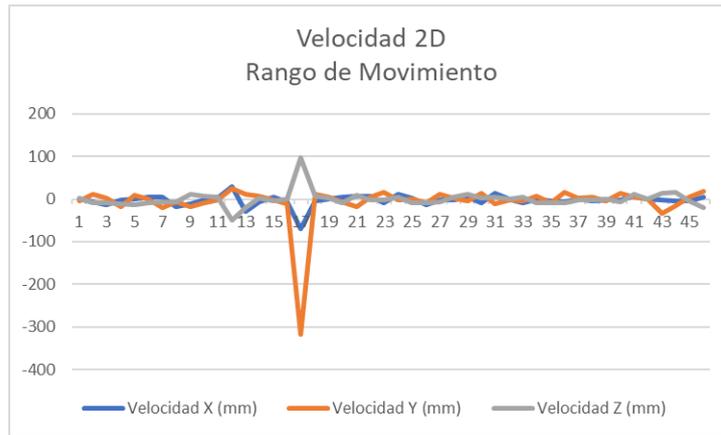
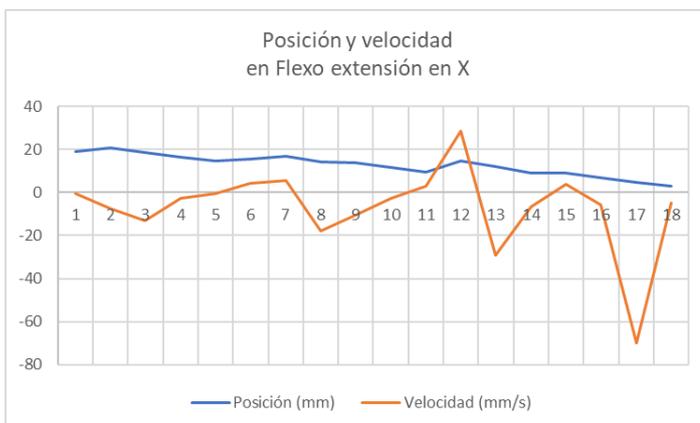


Figura 50. Análisis velocidad persona 74 años enferma

3.1.1.8.1. Análisis flexo-extensión voluntario 8

En el análisis correspondiente a la posición presenta un movimiento continuo en la extensión de las falanges donde requiere explicación adicional, durante el rango de amplitud, pero en este caso para la flexión las articulaciones interfalángicas no tienen limitaciones al realizar la producción de este movimiento. La cierta complicación ocurre en la posición del punto 17 en la velocidad como se menciona en el 3.1.1.8. La transición al mantener el puño y generar una rapidez intuitiva para regresar a una posición cómoda por la persona produce un pico significativo en los tres ejes coordenados analizados en la toma de datos mediante Leap Motion®. La posición mantiene un rango de movimiento constante sin presentar complicaciones en las articulaciones metacarpofalángicas e interfalángicas



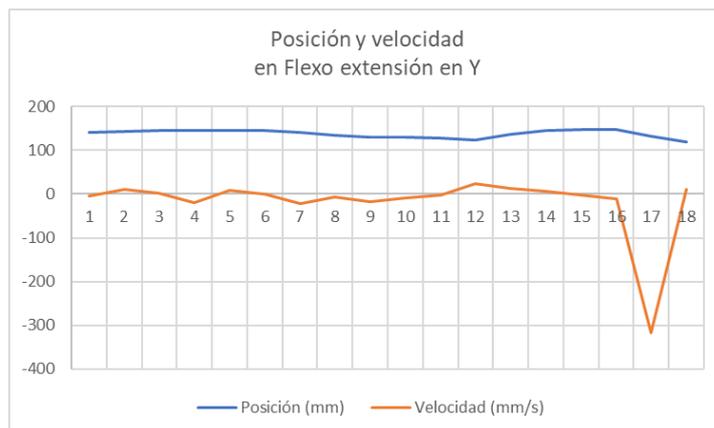


Figura 51. Análisis flexo-extensión mujer 74 años enferma

3.1.1.9. Voluntario 9: Hombre de 53 años artritis reumatoide

El voluntario está controlado por una medicación indicado por traumatólogos, sus actividades laborales se basan en movimientos frecuentes con sus manos. Las articulaciones en su momento debido al efecto de los fármacos no tienen tumefacción en las zonas de análisis, es decir, en las articulaciones interfalángicas y metacarpofalángicas. Respecto a la posición la persona de sexo masculino realiza los movimientos sin problema como indica el protocolo, lo realiza a su manera tomando el tiempo necesario para producir las acciones deflexión y extensión en las articulaciones. Una característica importante en la persona es el número de puntos captados durante la toma de datos, con un total de 20 posiciones con su respectiva velocidad, algo un tanto inusual respecto a las otras personas que completan la amplitud del movimiento con puntos superiores. La velocidad en la valoración durante la toma de datos observamos un cambio significativo en la posición 6 hasta 8 correspondiente a la transición del movimiento en flexión-extensión establecida por el protocolo del punto 2.4. En otros puntos la velocidad presenta oscilaciones, pero son generadas obviamente por el movimiento discontinuo de cada una de las falanges de la mano presentando una variación en este parámetro.

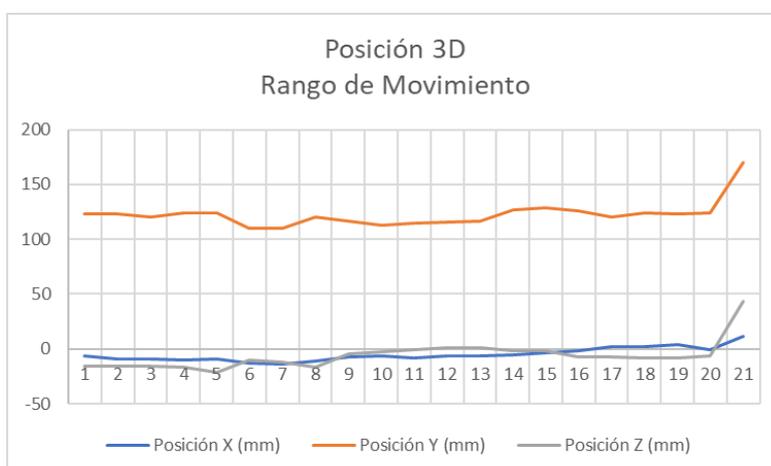


Figura 52. Análisis posición persona 53 años enfermo

1x7 struct array with fields:

```
id
timestamp
hands
version
```

Numero de manos: 1

Mano: 1

```
Posicion: -10.961596 119.963966 -16.700869
Velocidad: -86.335114 144.029663 131.973053
Orientacion: -0.123817 0.065211 -0.178910 0.973862
Dedos levantados: 0
Dedos: 0 0 0 0
```

1x8 struct array with fields:

```
id
timestamp
hands
version
```

Numero de manos: 1

Mano: 1

```
Posicion: -7.126451 116.313087 -4.257168
Velocidad: -11.399396 -30.161982 18.410208
Orientacion: -0.099788 0.125712 0.004444 0.987025
Dedos levantados: 5
Dedos: 1 1 1 1
```

1x9 struct array with fields:

```
id
timestamp
hands
version
```

Numero de manos: 1

Mano: 1

```
Posicion: -6.368834 112.372971 -2.514160
Velocidad: -1.187988 0.598535 -0.456421
Orientacion: -0.110109 0.125182 0.000630 0.986005
Dedos levantados: 5
Dedos: 1 1 1 1
```

Figura 53. Análisis flexo-extensión persona 53 años enfermo

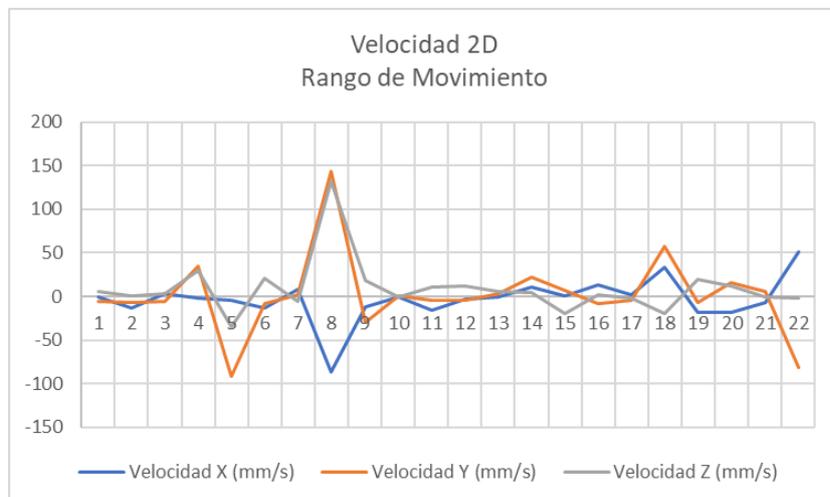


Figura 54. Análisis velocidad persona 40 años enferma

3.1.1.9.1. Análisis flexo-extensión voluntario 9

El control de la enfermedad degenerativa proporcionado por la ingesta de fármacos en la persona ayuda considerablemente en la calidad de vida y por lo tanto también los movimientos realizados en la flexo-extensión de las falanges. Comenzando con movimientos continuos observados en la posición respecto a los 3 ejes cartesianos no existen complicaciones o limitaciones en esta acción. La velocidad depende del movimiento de cada una de las falanges de la mano que por razones entendibles van a variar. La velocidad presenta un pico alto entre los puntos 7-9 en la captura de datos mediante Leap Motion® por conocimientos establecidos en el punto 3.1.1.9.

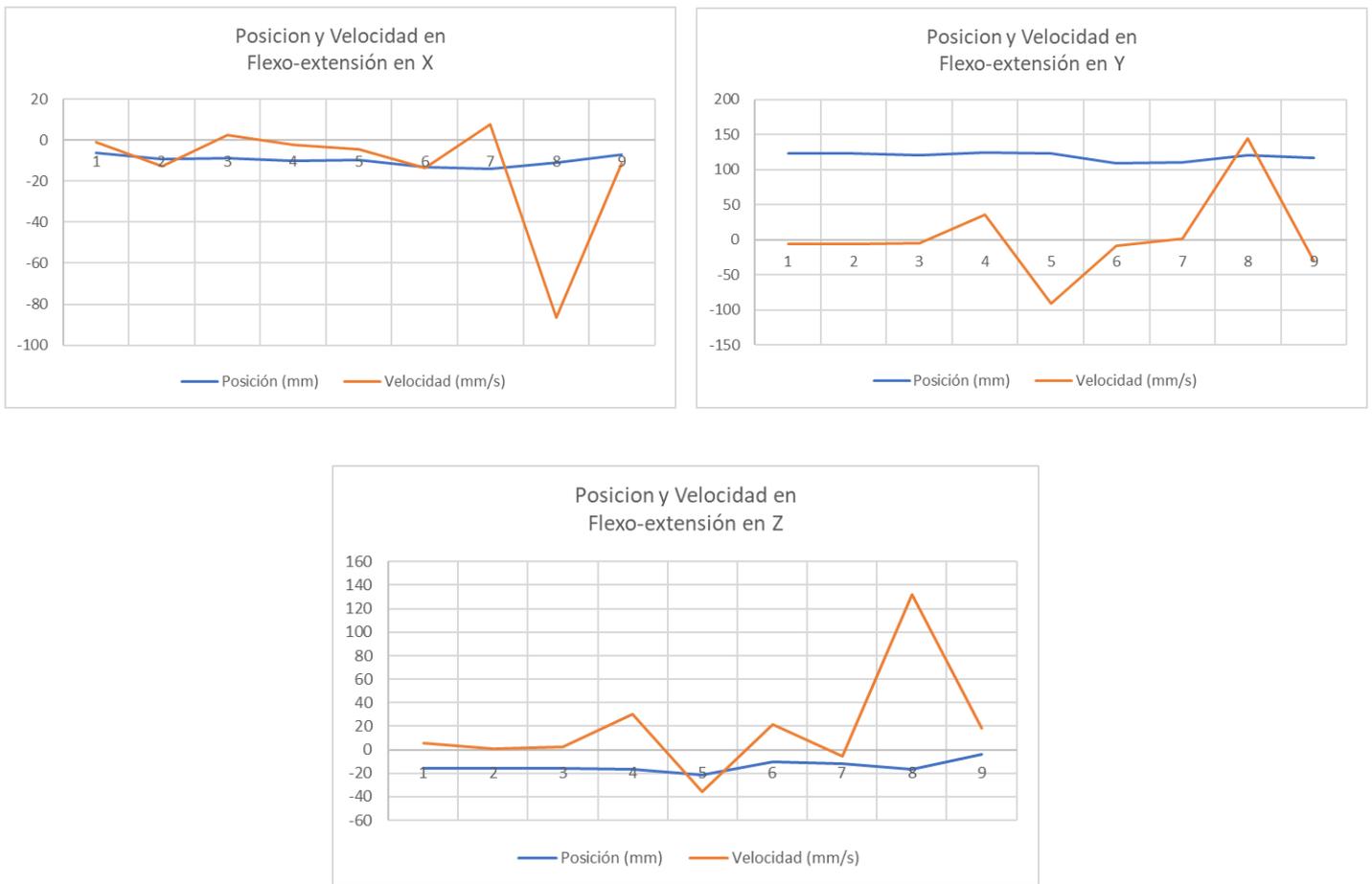


Figura 55 Análisis flexo-extensión hombre 53 años enfermo



Figura 56. Mano hombre 53 años enfermo

3.1.1.10. Voluntario 10: Mujer de 49 años con artritis reumatoide

El caso presentado por el voluntario es único respecto a las demás personas enfermas, la voluntaria presentaba resequedad en sus ojos y como ella menciona después tenía dolores en las articulaciones. Hace aproximadamente 10 años debido a los síntomas presentados acude a traumatólogos y es detectada primero con Síndrome de Sjögren a causas de las molestias causadas en su cuerpo. Posterior a ellos y según lo indicado en la bibliografía, las 50% persona de las personas que han sido diagnosticadas con este síndrome padece de artritis reumatoide como una consecuencia, en este caso, la persona está dentro de las cifras estadísticas [31]. La medicación para ella es esencial a tal punto de presentar síntomas dolorosos en las manos si olvida la ingesta del medicamento y su efecto al consumir el fármaco es casi instantáneo presentando mejoras significativas.

Al momento de la captura de datos ya ha ingerido el medicamento y las articulaciones no presentan inflamaciones en las zonas de valoración del movimiento basadas en el protocolo establecido. La posición respecto a los movimientos capturados por Leap Motion® desde MATLAB® registra 51 posiciones, puntos muy comunes en los enfermos, pero la invariabilidad de la posición presenta datos casi constantes debido a la mejora por la medicación ingerida todos los días desde la detección de la artritis reumatoide. La velocidad en este caso presenta también una cierta invariabilidad, no común dentro de los otros pacientes analizados hasta el momento. Para esta variable no corresponde un análisis adicional debido a la constante de los movimientos y es admirable las acciones realizadas a lo largo de la captura de datos en tiempo real.

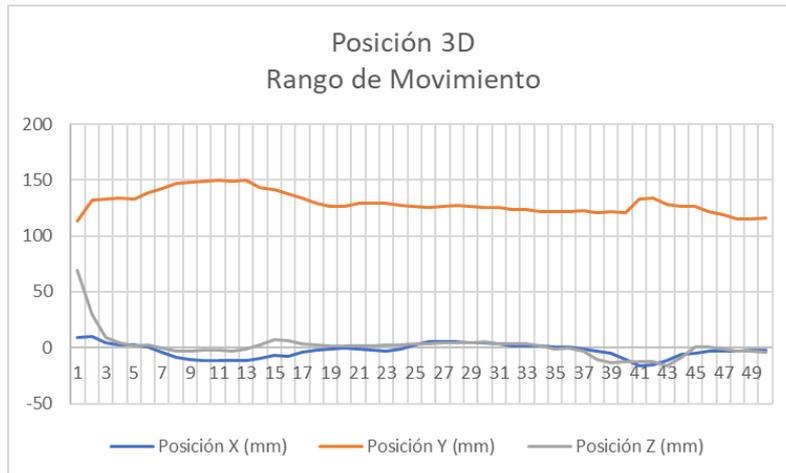


Figura 57. Análisis posición persona 49 años enfermo

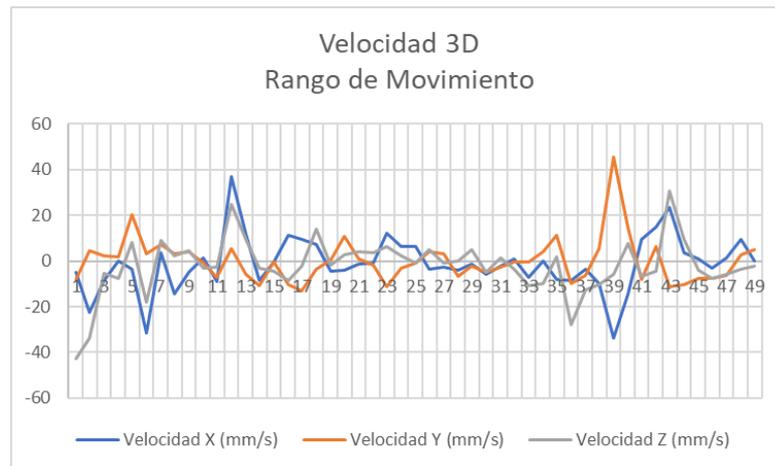


Figura 58. Análisis velocidad persona 49 años enferma

3.1.1.10.1. Análisis flexo-extensión voluntario 10

En la flexo-extensión la posición debido a las condiciones de su enfermedad presenta cierta variabilidad en la posición al realizar el movimiento de flexionar la mano completamente reflejados en la gráfica del eje vertical. La velocidad en X y Z en el plano frontal la contracción de las falanges al realizar la extensión de las manos produce una velocidad con un pico alto de velocidad en los puntos mencionados en el apartado 3.1.1.10. La particularidad del caso es el registro de datos en el movimiento con 20 toma de puntos acotando la suavidad y ligereza en la acción presentada en el protocolo.

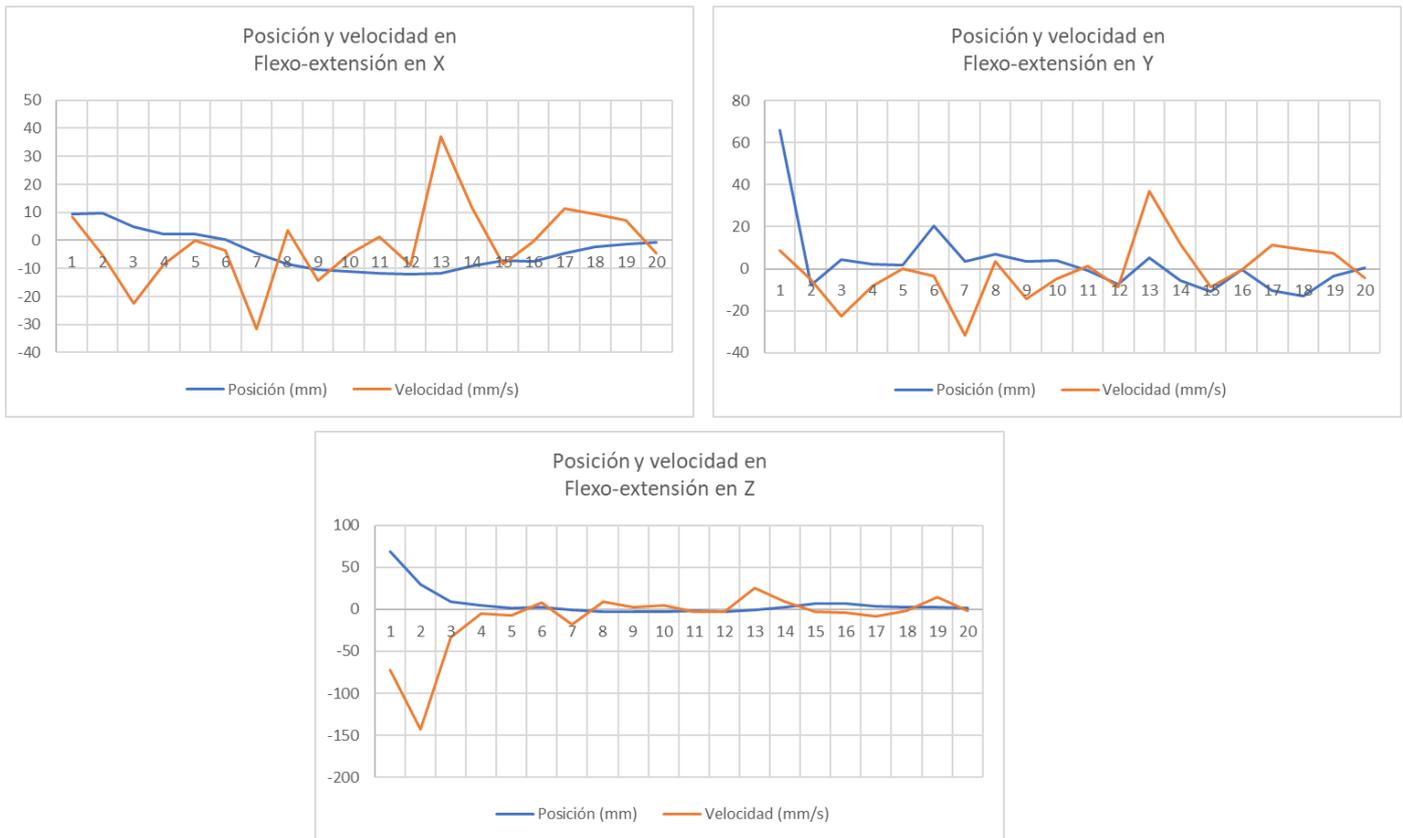


Figura 59. Análisis flexo-extensión mujer 49 años enferma



Figura 60. Mano mujer 49 años enferma

3.1.2. Análisis gráficas posición y velocidad en personas sanas

3.1.2.1. Voluntario 11: Mujer de 47 años sana

Voluntario 11 no padece de la enfermedad, pero existe un caso particular, tiene problemas en las huellas dactilares causando problemas para la toma de datos, además al realizar la amplitud de uno

de los movimientos establecidos Leap Motion® no captó los gestos en tiempo real y se ha realizado un pedido explícitamente de realizar el último movimiento lo más lento posible captando al final los registros establecidos por el protocolo mencionado en el punto 2.4.

La velocidad del movimiento es casi constante en las coordenadas, salvo los últimos datos capturados en tiempo real por lo motivos mencionados en el párrafo anterior, donde se observa picos altos. No son datos que merezcan un análisis profundo, las razones son establecidas. Otro punto importante son los datos registrados. En este caso presentan 25 puntos coordenados.

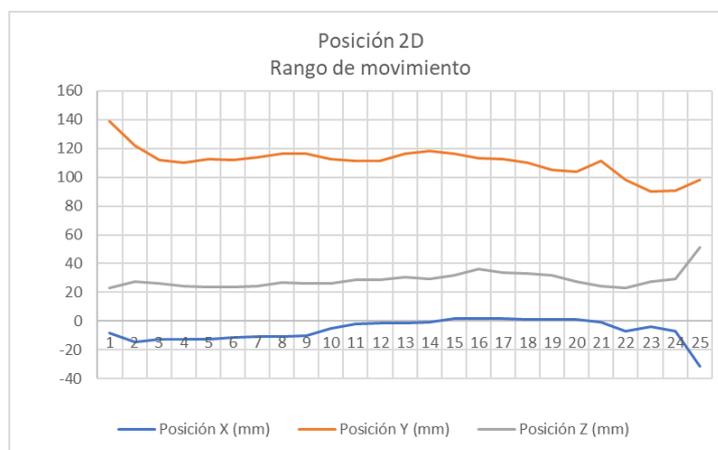


Figura 61. Análisis posición persona 47 años sana

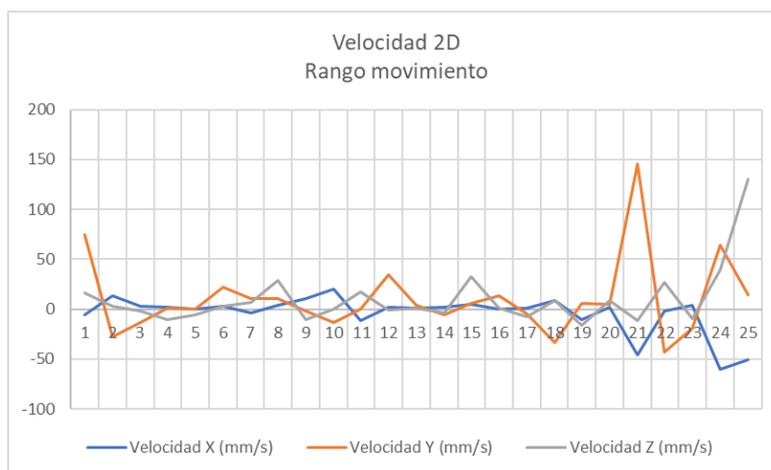


Figura 62. Análisis velocidad 47 años sana

3.1.2.1.1. Análisis flexo-extensión voluntario 11

Los movimientos tanto de posición como velocidad en el rango de flexo-extensión los realiza de manera firme y constante. Se ve reflejado en el registro de los datos, se han capturado solamente 3 posiciones en la amplitud de este movimiento dentro de las articulaciones metacarpofalángicas. Los movimientos de posición entre sus tres ejes coordenados son lineales, sin picos pronunciados respecto de las personas con artritis reumatoide. Para la voluntaria es un movimiento común que no presenta una alta complejidad.

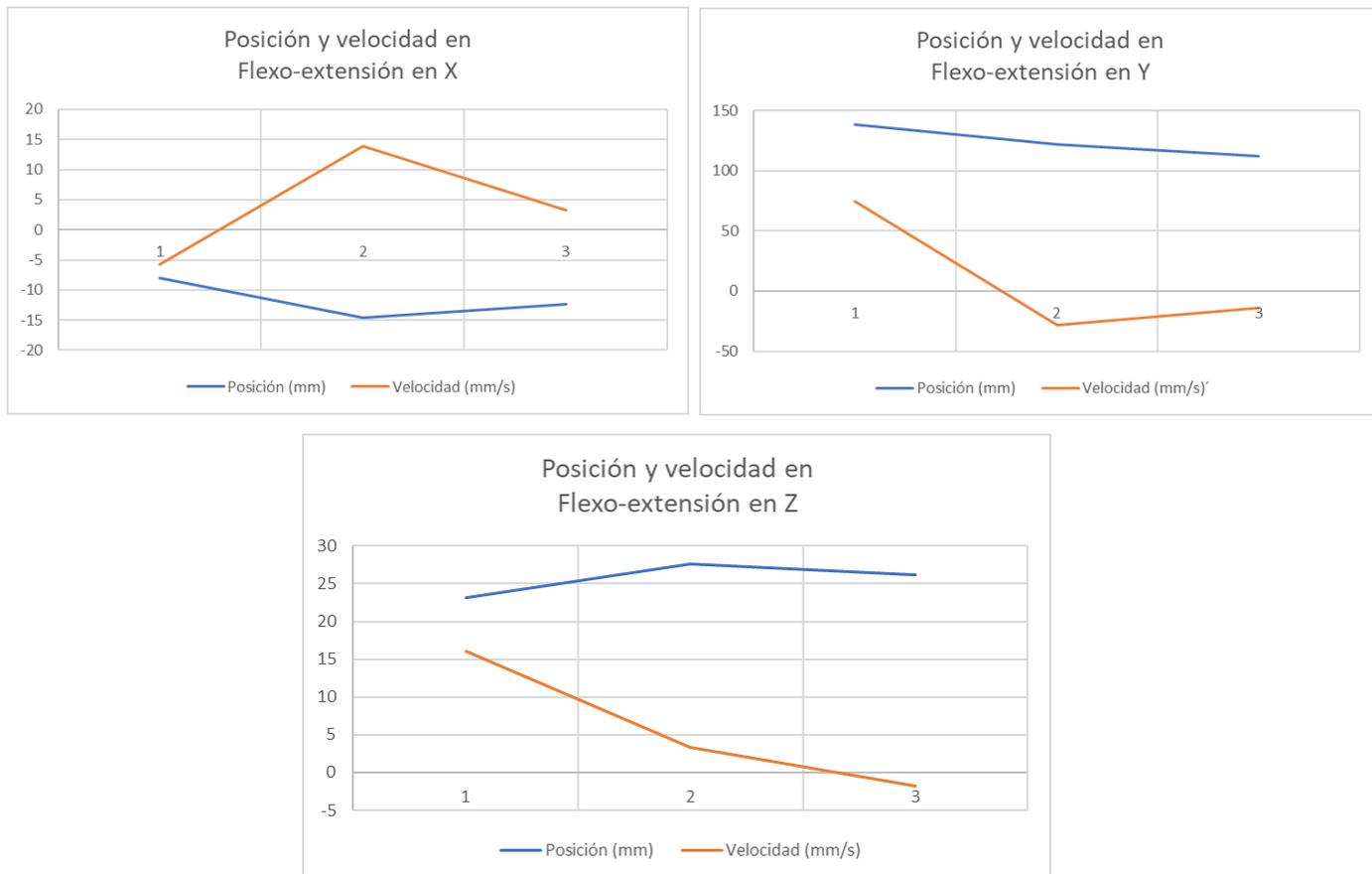


Figura 63. Análisis flexo-extensión 47 años sana

3.1.2.2. Voluntario 12: Hombre de 54 años sano

Persona de sexo masculino sin problemas dentro de sus articulaciones metacarpofalángicas e interfalángicas, no existe inflamación en ninguna de estas dos zonas, la obtención de los puntos para la valoración según lo establecido por el protocolo también se considerada como rápida debido a su estado de salud bueno respecto de las personas con la enfermedad degenerativa.

La posición presenta movimientos continuos sin problemas ante un análisis extensivo, esta variable se puede observar en la gráfica como un movimiento constante aproximadamente por la excelente movilidad en las falanges. En la velocidad se produce un movimiento curioso debido a una reacción involuntaria de la persona flexionando su quinta falange en un rango donde correspondía extender la mano y posteriormente realizar el movimiento de flexión completa de la mano, el dispositivo captando los datos en tiempo real y el gesto involuntario presenta una discontinuidad en la velocidad debido a la acción rápida en el dedo meñique, como consecuencia, la toma datos los puntos 4-6 varia como se muestra en la figura.

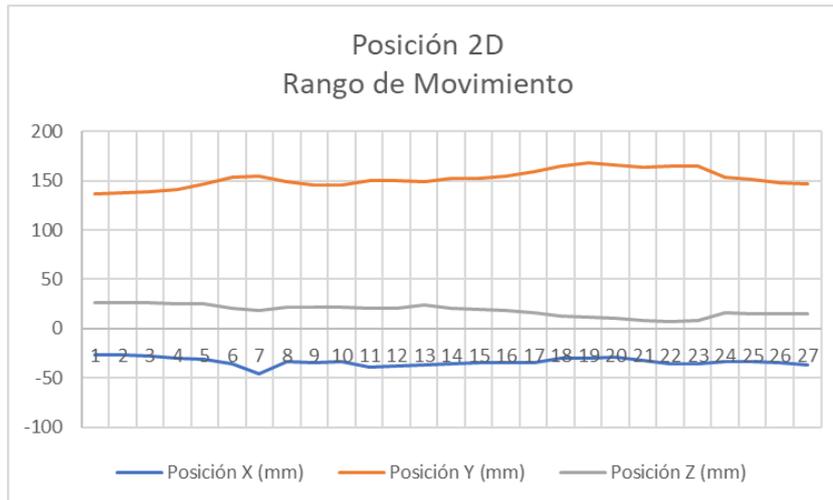


Figura 64. Análisis posición 54 años sano

1x4 struct array with fields:

```
id
timestamp
hands
version
```

Numero de manos: 1

Mano: 1

```
Posicion: -31.423849 146.227921 24.828407
Velocidad: -34.431534 107.253357 -12.584632
Orientacion: -0.081482 0.034350 -0.079518 0.992904
Dedos levantados: 4
Dedos: 1 1 1 1 0
```

1x5 struct array with fields:

```
id
timestamp
hands
version
```

Numero de manos: 1

Mano: 1

```
Posicion: -35.593231 153.626282 20.793871
Velocidad: -29.043816 -7.070697 -15.365580
Orientacion: -0.008132 0.074647 -0.176411 0.981448
Dedos levantados: 0
Dedos: 0 0 0 0 0
```

1x6 struct array with fields:

```
id
timestamp
hands
version
```

Numero de manos: 1

Mano: 1

```
Posicion: -47.701721 151.783203 20.225115
Velocidad: -5.045057 5.374186 -1.263180
Orientacion: 0.015782 0.232492 -0.093264 0.967988
Dedos levantados: 0
Dedos: 0 0 0 0 0
```

Figura 65. Análisis movimiento hombre 54 años sano

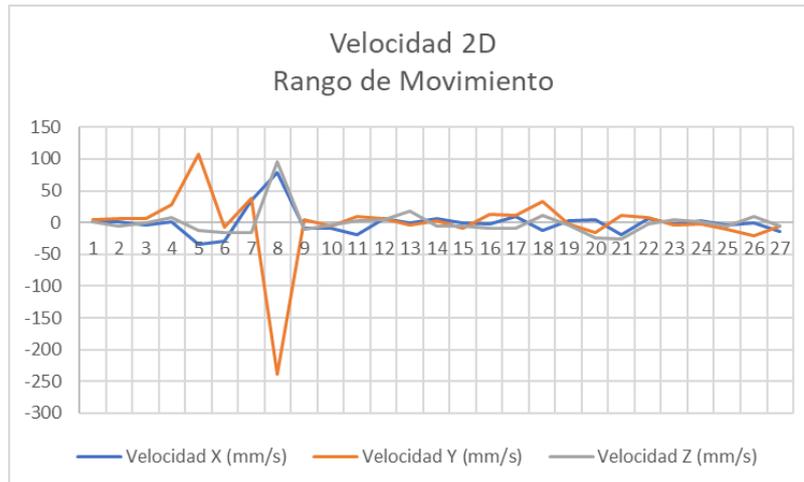


Figura 66. Análisis velocidad 54 años sana

3.1.2.2.1. Análisis flexo-extensión voluntario 12

El rango de flexo-extensión correspondiente a la toma de datos desde el punto 7 hasta el 9 presentan un pico alto en la velocidad como parte del protocolo a seguir con el objetivo de analizar las articulaciones principales afectadas en los estadios de la artritis reumatoide, esto se debe a la variación y cambio de movimiento rápido al extender las falanges, flexionarlas completamente y volverlas a extender en un periodo de tiempo que tarda unos pocos segundos.

1x7 struct array with fields:

```
id
timestamp
hands
version
```

Numero de manos: 1

Mano: 1

```
Posicion: -45.564716 154.467529 18.001570
Velocidad: 35.333363 39.002651 -16.583429
Orientacion: 0.024812 0.213982 -0.121825 0.968894
Dedos levantados: 0
Dedos: 0 0 0 0
```

1x8 struct array with fields:

```
id
timestamp
hands
version
```

Numero de manos: 1

Mano: 1

```
Posicion: -33.434456 149.085907 21.914829
Velocidad: 78.430832 -238.088196 95.531227
Orientacion: -0.051588 0.056119 -0.050975 0.995787
Dedos levantados: 5
Dedos: 1 1 1 1
```

1x9 struct array with fields:

```
id
timestamp
hands
version|
```

Numero de manos: 1

Mano: 1

```
Posicion: -34.061295 145.755051 22.068468
Velocidad: -9.104589 4.550452 -10.620943
Orientacion: -0.062231 0.050933 -0.064547 0.994669
Dedos levantados: 5
Dedos: 1 1 1 1 1
```

Figura 67. Análisis pico flexo-extensión 54 años sano

Dentro del análisis solo en el rango de flexo-extensión la posición se mantiene como en los casos anteriores de una manera casi invariable, la velocidad en los ejes X y Z fluctúa la velocidad debido al plano frontal donde se producen los movimientos de extensión y flexión de la mano.

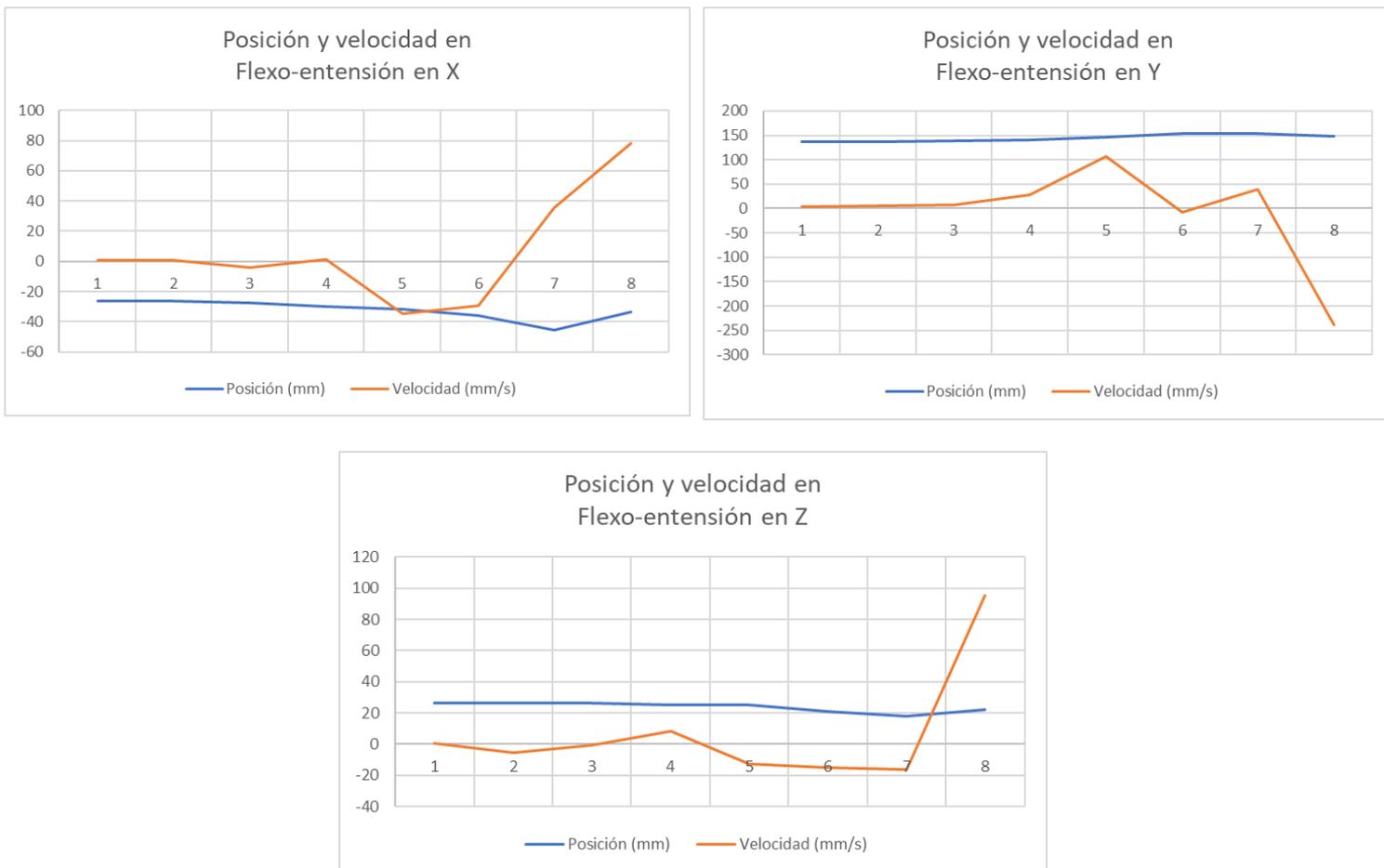


Figura 68. Análisis flexo-extensión 54 años sano

3.2. Valoración de la fuerza en los voluntarios sanos y enfermos

El protocolo de evaluación de la fuerza valora los movimientos de flexión y extensión de las articulaciones metacarpofalángicas e interfalángicas con la ayuda de un dinamómetro con lectura

automática establecido en medidas del SI. El dispositivo al realizar la medición nos indica el rango de edad, además del valor obtenido durante la evaluación de este parámetro. La toma de datos empieza con 3 tomas a cada participante, posterior a ello se obtiene una media de la fuerza la cual se compara con la fuerza respecto a un paciente con artritis reumatoide.

En la tabla se presenta un resumen de los datos obtenidos en las medidas de fuerza con la ayuda del dinamómetro y la media de esta magnitud tanto para personas con artritis reumatoide como para personas sanas, empezando por estas para una mayor comprensión en la evaluación

Tabla 1. Valoración con media aritmética de la fuerza personas sanas

Voluntario 11	19,2	Kgf
	17,0	Kgf
	13,3	Kgf
	16,5	Kgf
Voluntario 12	25,5	Kgf
	27,1	Kgf
	22,0	Kgf
	24,9	Kgf
Voluntario 13	23,7	Kgf
	20,7	Kgf
	23,5	Kgf
	22,6	Kgf
Voluntario 14	21,2	Kgf
	23,2	Kgf
	21,1	Kgf
	21,8	Kgf
Voluntario 15	26,8	Kgf
	25,6	Kgf
	27,4	Kgf
	26,6	Kgf
Voluntario 16	22,1	Kgf
	22,3	Kgf
	21,7	Kgf
	22,0	Kgf
Voluntario 17	33,0	Kgf
	26,1	Kgf
	29,0	Kgf
	29,4	Kgf
Voluntario 18	14,3	Kgf
	15,0	Kgf
	15,0	Kgf
	14,8	Kgf
Voluntario 19	23,7	Kgf

	20,7	Kgf
	23,5	Kgf
	22,6	Kgf
	18,9	Kgf
Voluntario 20	22,2	Kgf
	24,4	Kgf
	21,8	Kgf

La fuerza como se esperaba en estas personas es superior a las personas que padecen la enfermedad con una fuerza máxima en el voluntario 17 con 29,4 Kgf. Curiosamente el voluntario 18 con sus tiene una fuerza de 14,8 Kgf y así indica esta persona previa a la valoración de fuerza. Necesita de terceras personas para abrir latas de comida, bebidas y otros alimentos donde necesita realizar un determinado movimiento argumentando su fuerza mermada en toda la vida.

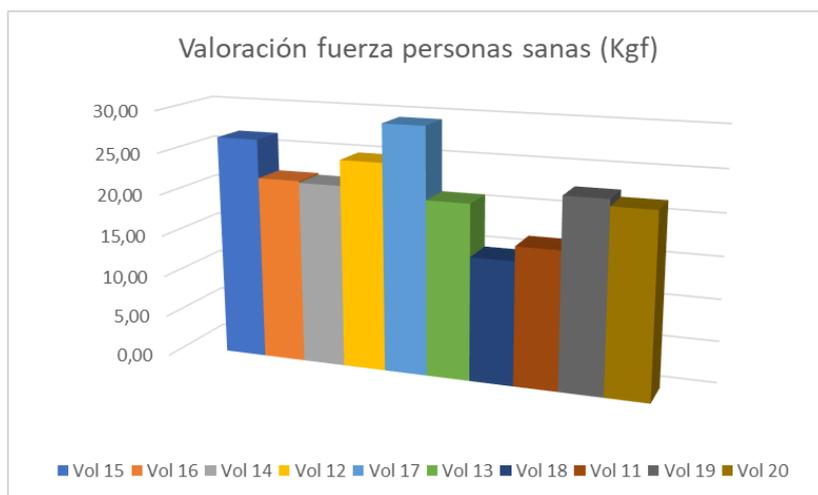


Figura 69. Valoración de fuerza personas sanas

Tabla 2. Valoración con media aritmética de la fuerza personas enfermas

Voluntario 1	5,9	Kgf
	5,6	Kgf
	9,5	Kgf
	7,0	Kgf
Voluntario 2	1,5	Kgf
	2,4	Kgf
	4,2	Kgf
	2,7	Kgf
Voluntario 3	15,4	Kgf
	11,6	Kgf
	22,0	Kgf
	19,3	Kgf
Voluntario 4	2	Kgf

	1,8	Kgf
	1,7	Kgf
	1,8	Kgf
Voluntario 5	10,9	Kgf
	12,0	Kgf
	11,7	Kgf
	11,5	Kgf
Voluntario 6	11,2	Kgf
	12,4	Kgf
	12,4	Kgf
	12	Kgf
Voluntario 7	23,8	Kgf
	24,4	Kgf
	22,7	Kgf
	23,6	Kgf
Voluntario 8	9,6	Kgf
	7,6	Kgf
	17,0	Kgf
	11,4	Kgf
Voluntario 9	12,0	Kgf
	10,9	Kgf
	11,7	Kgf
	11,5	Kgf
Voluntario 10	19,8	Kgf
	13,2	Kgf
	18,1	Kgf
	17,3	Kgf

Como se puede observar las personas con la enfermedad degenerativa poseen un rango menor de fuerza comparado con las personas sanas con un valor máximo de 23,6 kgf correspondiente al voluntario 7 y una magnitud de 2,7 kgf por parte del voluntario 2. Los 1,8 kgf del voluntario 4 se lo tiene en cuenta como un outlier debido a obvias razones, entre ellas su edad.

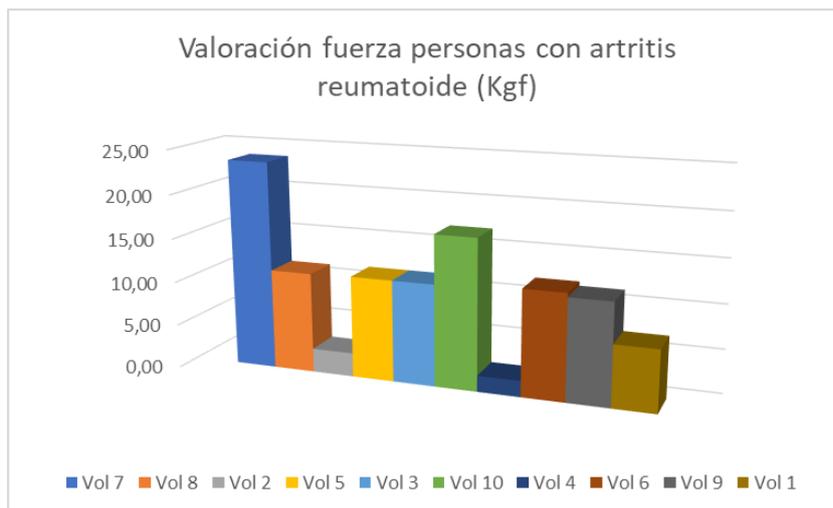


Figura 70. Valoración fuerza personas con artritis reumatoide

3.2.1. Comparación de fuerza entre voluntarios sanos y enfermos

La comparación en esta magnitud se realiza por sexo y una edad similar, es decir, tomar en cuenta la persona de sexo femenino o masculino y un rango de edad similar, dejando de lado las personas con una edad avanzada como la voluntaria 4 o rango de edad que excedan la comparación porque existen variaciones marcadas por razones lógicas. Primero empezamos por el caso de los voluntarios 15 y 7 con la enfermedad degenerativa y otra sana. La primera persona, sana, tiene una valoración de fuerza de 26,6 kgf respecto de la persona con artritis reumatoide con 23,6 Kgf. La medicación de la persona patológica y la actividad recurrente de sus manos genera una fuerza casi equiparada respecto de una persona sana, es decir, podría realizar las mismas actividades en relación con esta magnitud en su cotidianidad.

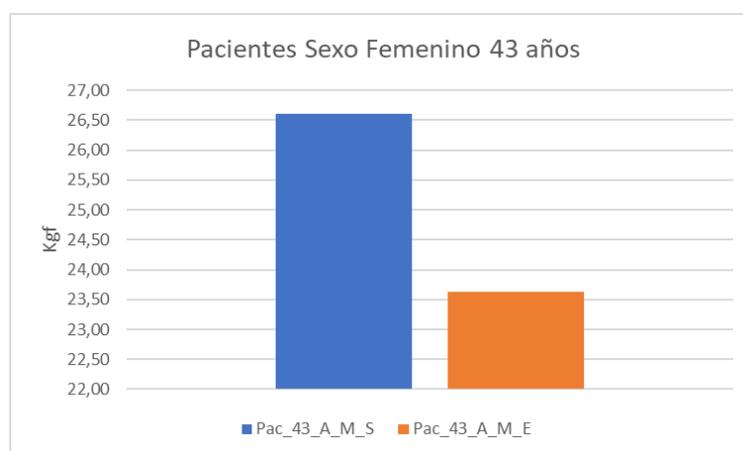


Figura 71. Valoración fuerza persona 43 años sana y enferma

La comparación en este caso es de tres personas entre 53 y 54 años, dos de ellos con la enfermedad degenerativa, la restante está sana. La persona en buenas condiciones de salud genera en promedio una magnitud de 24,87 Kgf, respecto al voluntario 9 con la enfermedad, la fuerza es el doble

aproximadamente. El voluntario 12 respecto de la segunda persona patológica con la misma edad es de 3 veces la fuerza, existe una magnitud bastante dispareja en este caso, se puede mencionar que el voluntario 1 no puede realizar mucha fuerza para realizar actividades, es decir, dentro de su ambiente laboral la persona debería tener un trabajo que no demande fuerza casi en lo absoluto. El voluntario 1 debería tener actividades donde la fuerza sea leve y las actividades no deben ser recurrentes donde se implique muchos impulsos.

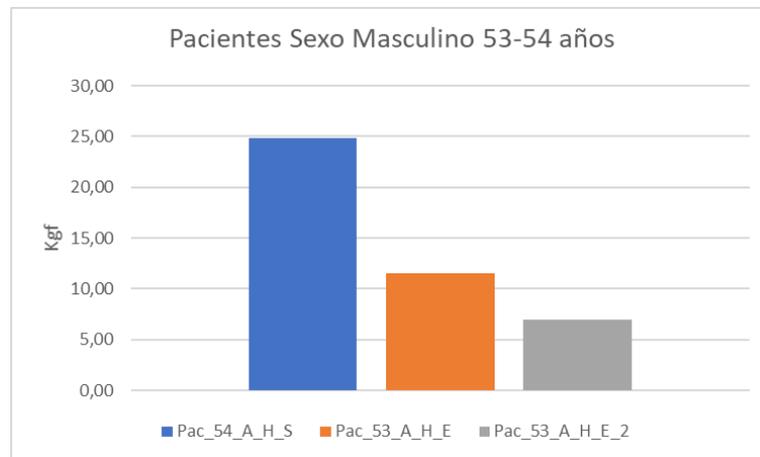


Figura 72. Valoración fuerza persona rango de edad 53-54 años sano y enfermo

La tercera comparación corresponde a 4 voluntarios mujeres en un rango de edad entre 49 a 51 años. Existe un caso particular, voluntario 10 tienen una media de fuerza superior (17,03 Kg) al voluntario 18 (14,77 Kg), el manejo del medicamento y las actividades realizadas por esta persona a lo largo del día supone un mejor rendimiento en cuanto a esta magnitud respecto a una persona sana quizá por su menor masa muscular. Entre el voluntario 5 y 16 existe una diferencia considerable con un promedio de fuerza el doble ejercida por el voluntario 16 respecto al voluntario 5 considerado los mismos motivos donde se considera a las personas en buen estado de salud aptas para ejercer una mayor fuerza respecto a las personas que presentan complicaciones de salud.

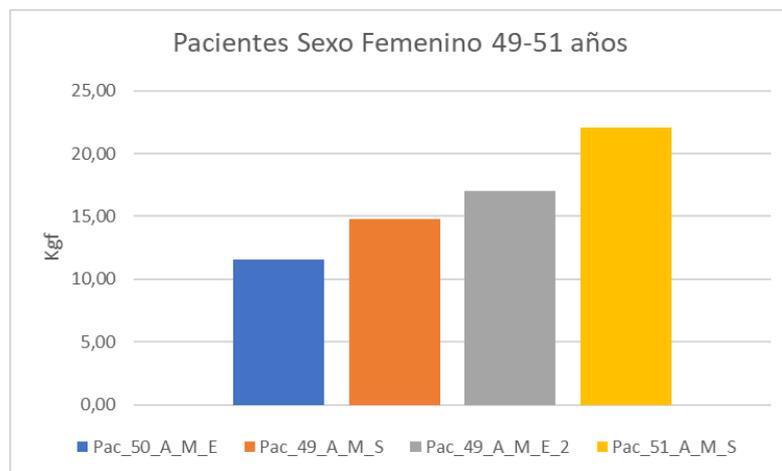


Figura 73. Valoración fuerza persona rango de edad 49-51 años sana y enferma

3.3. Comparación de resultados personas con medicamento y rehabilitación

El medicamento para las personas con la enfermedad degenerativa representa un confort deseable y ayuda a mejorar después de tener síntomas propios de la artritis reumatoide. Para el siguiente caso se presenta 3 personas de diversas edades incluidas en el presente trabajo: el voluntario 1 y el voluntario 2.

3.3.1. Indicaciones de los medicamentos ingeridos

Metotrexato es un fármaco anticancerígeno eliminando células buenas y malas. Es antiinflamatorio e inmunosupresor. También se utiliza para controlar la artritis psoriásica, caso presentando por el voluntario 1. La persona se inyecta este medicamento cada semana en su dosis de 8 mL. El voluntario 2 debido a sus efectos secundarios daña seriamente a los órganos internos del cuerpo humano, por esta razón el hombre ha dejado de utilizar este medicamento y prefiere la medicina psiónica.

Berifen Retard es antiinflamatorio controlando la enfermedad debido a las tumefacciones en las articulaciones generadas por la enfermedad degenerativa. El medicamento las personas lo ingieren 50 mL a las horas de la mañana, generalmente en el desayuno y después de la comida principal. El voluntario 2 no toma este medicamento y elige Aflazacor como medicamento similar, pero en una dosis de 6mg al día con el mismo fin de antiinflamatorio.

Prednisona es un corticoide inhibiendo el dolor e inflamaciones en el cuerpo, es parte de la familia de los corticosteroides en aquellas personas con déficit o en pacientes con artritis reumatoide. El medicamento presenta algunas contraindicaciones como osteoporosis, debilidad muscular y en ciertos pacientes causar diabetes. El voluntario 2 consume esporádicamente este medicamento debido al cambio de pigmentación en la piel. El voluntario 2 ingiere el fármaco en dosis de 5mL por recomendación de sus médicos tratantes.[27]

3.3.2. Voluntario 9 con medicamento y sin medicamento

El medicamento para el voluntario 9, ha formado parte de él durante 19 años con dosis de Metotrexato (2.5mL) desde el principio de la enfermedad, actualmente se medica una dosis inyectable de 8mg del mismo medicamento, Berifen Retard (100mL) y Prednisona (5mL) después de la comida. Para el análisis de sus articulaciones interfalángicas y metacarpofalángicas con el protocolo del punto 2.4. se toma el registro en 3 horas específicas a las 13h00 hasta las 15h00, estableciendo tres etapas específicas, la primera cuando la persona voluntaria acaba el efecto del medicamento, después de las 14h00 donde la persona ya tiene problemas debido al retardo del consumo de los fármacos y la tercera a las 15h00 para observar si existe una evolución del voluntario ante el proceso inflamatorio propio de la enfermedad.

La posición presenta una uniformidad sin ningún pico resaltado a considerar, es un movimiento un tanto variable debido a su limitación en las articulaciones por la inflamación en la zona como registra el voluntario en 43 puntos según el protocolo establecido.

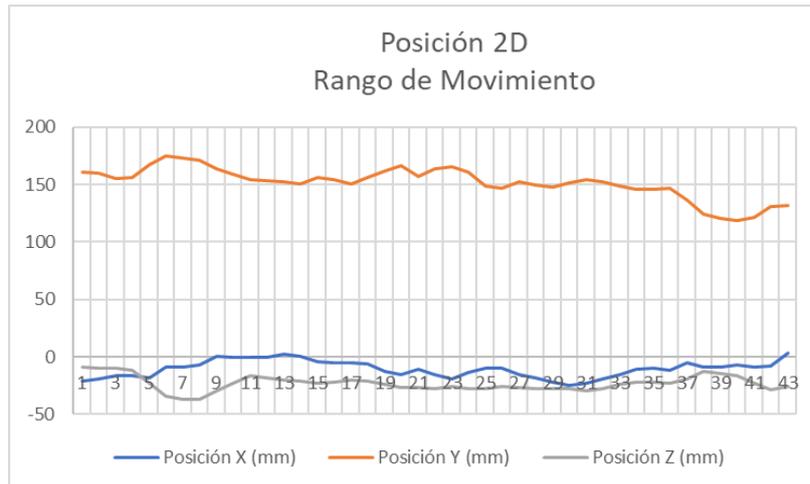


Figura 74. Análisis posición 53 años con artritis reumatoide sin medicamento

En la variable velocidad se espera movimientos con mucha complejidad en su motricidad, por lo tanto, este primer parámetro aún no se podría establecer una valoración debido al comportamiento propio de la persona al realizar el protocolo con dolores intensos a causa de la inflamación de las articulaciones. El objetivo de este punto es observar si existe o no una mejora en el movimiento de la persona evaluando las gráficas de posición y velocidad a lo largo de las acciones generadas como se ha realizado en el trabajo de investigación.

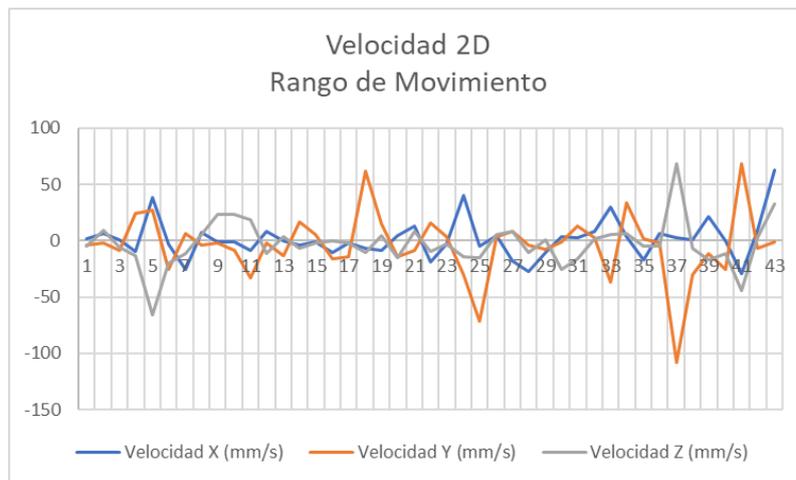


Figura 75. Análisis velocidad 53 años con artritis reumatoide sin medicamento

La flexo-extensión se analiza por separado, en los ejes espaciales se observa claramente los cambios de movimiento por parte de las articulaciones interfalángicas y metacarpofalángicas con movimiento sumamente pausados y con muchas limitaciones hasta cerrar el puño y volver a abrirlo. En los ejes X y Z donde se produce los movimientos de extensión y flexión se visualiza la fluctuación de la velocidad con picos cambiantes solo para la generación de esta acción

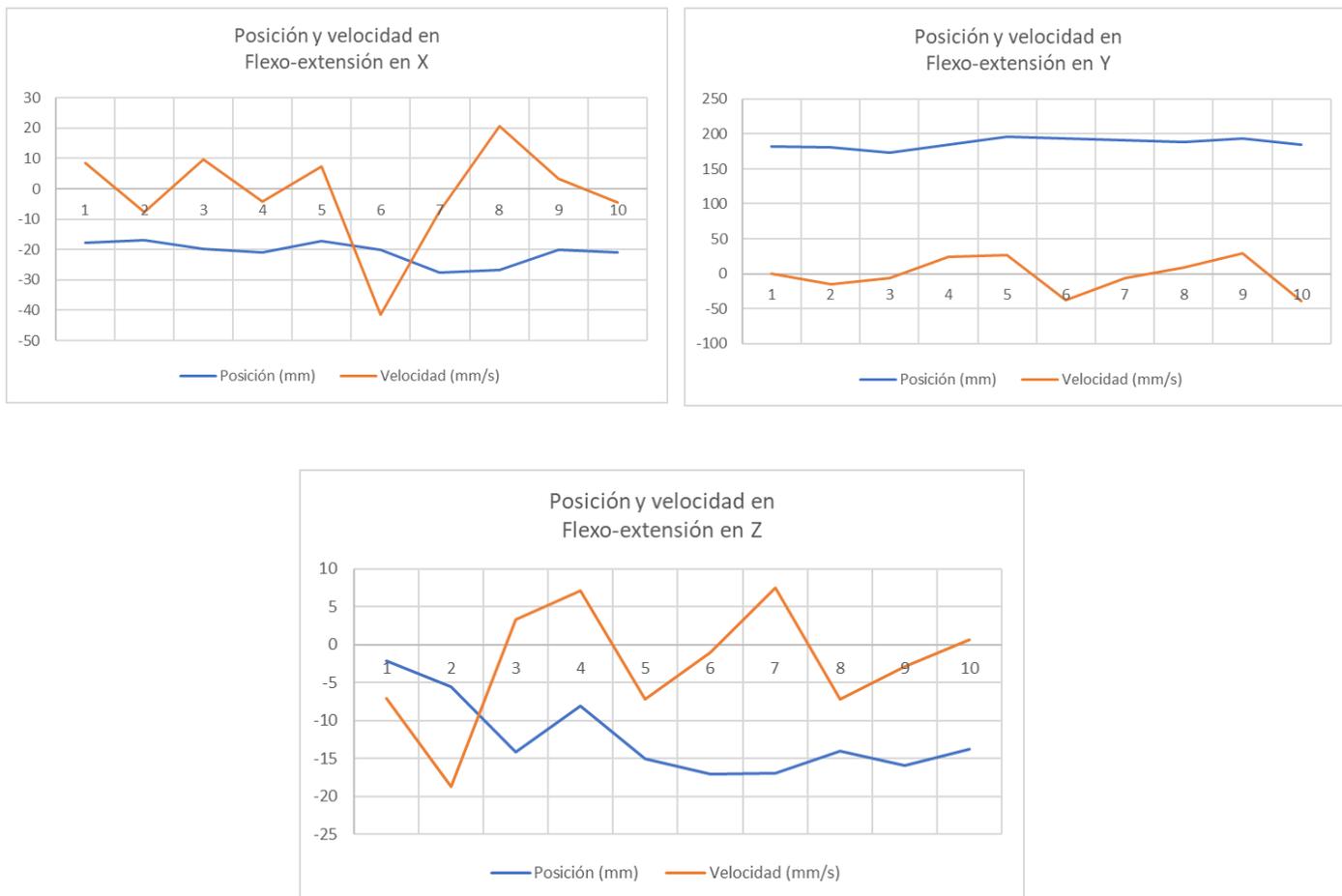


Figura 76. Análisis flexo-extensión 53 años con artritis reumatoide sin medicamento

La segunda toma de datos se considera como un periodo intermedio donde la persona ingiere el fármaco y después de 15 min se han registrado las posiciones con Leap Motion® en tiempo real. El paciente ahora presenta 33 puntos debido al síntoma persistente por el dolor generado en sus articulaciones con menos intensidad, pero dificultad aún sus movimientos

La valoración de la posición presenta una mejor estabilización respecto a la posición sin medicamento, asume una mejora representativa pero todavía con movimientos limitados en la evaluación de la flexo-extensión y la última parte del protocolo donde se realiza la extensión de las falanges

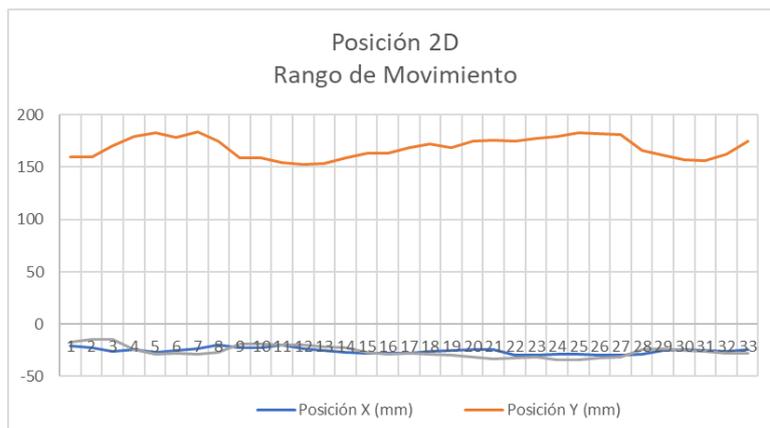


Figura 77. Análisis posición voluntario 1 con artritis reumatoide previo a ingesta del medicamento

La velocidad aun no presenta una mejora significativa respecto a la velocidad cuando el voluntario todavía no ha ingerido los fármacos para controlar la enfermedad. Mas bien supone movimientos complejos como los indica en la gráfica. Los picos altos correspondientes a los puntos 7-9 y 27-29 son motivos de análisis para evaluar las articulaciones y los movimientos que se producen en esos instantes.

En el punto 7-9 correspondiente a la flexo-extensión el voluntario 1 de sexo masculino todavía presenta problemas al realizar este movimiento y para lograr el objetivo realiza acciones adicionales provocando un pico de velocidad considerable.

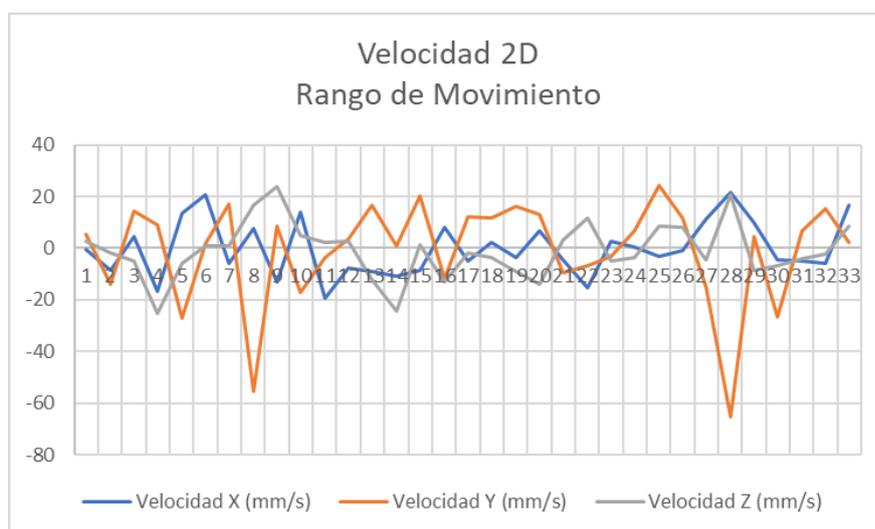


Figura 78. Análisis velocidad voluntario 1 con artritis reumatoide previo a ingesta del medicamento

```

1x7 struct array with fields:

    id
    timestamp
    hands
    version

Numero de manos: 1
Mano: 1
    Posicion: -19.652903 174.933640 -27.093269
    Velocidad: 7.666853 -55.519020 16.470476
    Orientacion: 0.046113 -0.207939 0.138190 0.967232
    Dedos levantados: 0
    Dedos: 0 0 0 0

1x8 struct array with fields:

    id
    timestamp
    hands
    version

Numero de manos: 1
Mano: 1
    Posicion: -22.422955 158.507874 -19.317457
    Velocidad: -12.870010 8.327330 23.716000
    Orientacion: -0.036186 -0.196138 0.074733 0.977054
    Dedos levantados: 5
    Dedos: 1 1 1 1

1x9 struct array with fields:

    id
    timestamp
    hands
    version

Numero de manos: 1
Mano: 1
    Posicion: -22.170605 159.228256 -18.772886
    Velocidad: 14.108403 -17.015421 4.837775
    Orientacion: -0.045044 -0.191556 0.060191 0.978598
    Dedos levantados: 5
    Dedos: 1 1 1 1

```

Figura 79. Análisis movimiento previo a la ingesta de movimiento

El segundo cambio de velocidad corresponde a la extensión de las falanges con una particularidad, la primera falange correspondiente al dedo pulgar permanece extendida por la limitación del movimiento debido a un intenso dolor indicado por el paciente durante la toma de datos y MATLAB® recoge ese dato en su lectura como extendido totalmente. Esto indica el dolor debido a la enfermedad, pero con menos intensidad en comparación al no ingerir un fármaco.

La valoración de la flexo-extensión está centrada ahora en la generación de movimientos por parte del paciente, donde no existe una mejora evolutiva en sus ejes espaciales, en el eje vertical existe una similitud respecto a la toma de dato cuando el paciente no ha ingerido todavía la medicación. En el plano frontal correspondiente al eje X todavía carece de una mejora significativa con varios picos de velocidad al flexionar las articulaciones interfalángicas. En el eje Z presenta una mejora respecto a la posición y velocidad, esta última variable presenta un movimiento más uniforme pero aún con varias limitaciones´

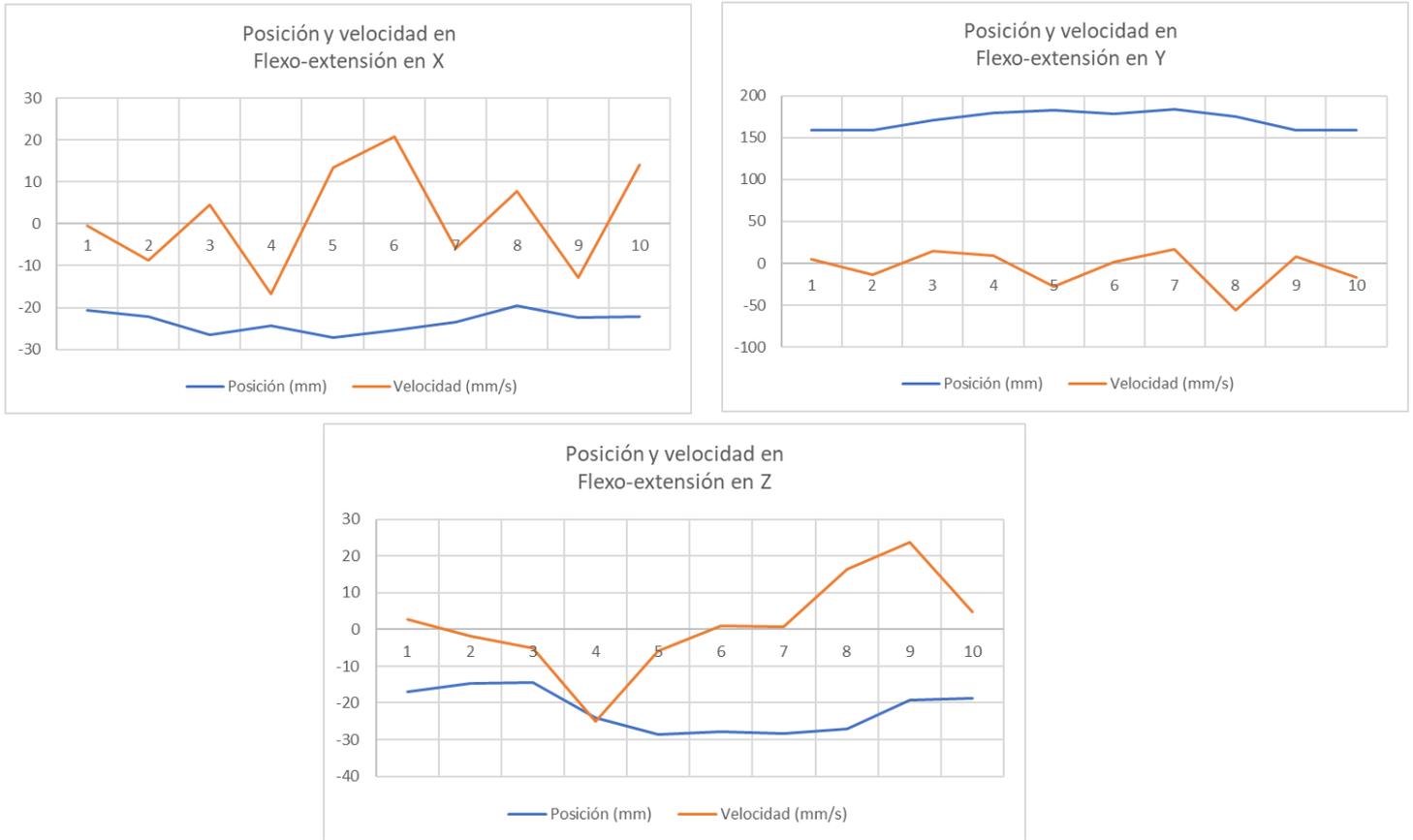


Figura 80. Análisis flexo-extensión voluntario 1 con artritis reumatoide previo a ingesta del medicamento

La tercera toma de datos una vez ingerida la medicación y con el reposo adecuado existe una mejora leve en cuanto a la invariabilidad de la posición respecto a la primera toma de datos donde la persona presenta limitación en sus movimientos, específicamente la flexo-extensión en este caso la persona mejora la motricidad en sus dedos y mano.

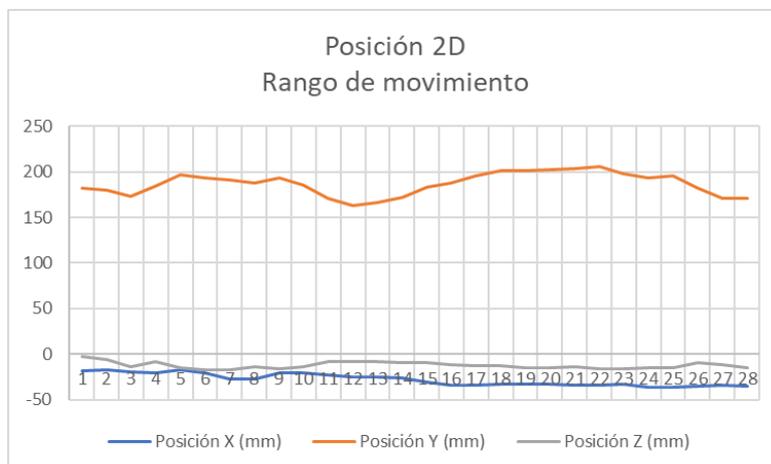


Figura 81. Análisis posición voluntario 1 con artritis reumatoide 1h después de ingesta del medicamento

En la velocidad presenta diversos picos, el más esperado en el análisis en los puntos entre el 25-27 donde se analiza la flexión de la primera falange como parte de la evaluación de las articulaciones interfalángicas de cada uno de los dedos y su posterior extensión completando el movimiento hasta la extensión total de la mano.

```

1x24 struct array with fields:

    id
    timestamp
    hands
    version

Numero de manos: 1
Mano: 1
    Posicion: -36.230701 195.258301 -14.856288
    Velocidad: 18.844559 29.541649 -35.635437
    Orientacion: 0.058116 -0.183426 0.090096 0.977170
    Dedos levantados: 0
    Dedos: 0 0 0 0

1x25 struct array with fields:

    id
    timestamp
    hands
    version

Numero de manos: 1
Mano: 1
    Posicion: -35.540756 181.643585 -9.106898
    Velocidad: -0.353555 -126.718407 51.459583
    Orientacion: -0.012814 -0.180162 0.055913 0.981963
    Dedos levantados: 4
    Dedos: 0 1 1 1 1

1x26 struct array with fields:

    id
    timestamp
    hands
    version

Numero de manos: 1
Mano: 1
    Posicion: -33.416264 170.666046 -11.075419
    Velocidad: 2.582769 -11.713425 -7.976282
    Orientacion: -0.089644 -0.166792 0.034021 0.981319
    Dedos levantados: 5
    Dedos: 1 1 1 1 1

1x27 struct array with fields:

    id
    timestamp
    hands
    version

Numero de manos: 1
Mano: 1
    Posicion: -34.677444 171.047180 -14.535748
    Velocidad: -3.314636 -7.666270 -12.016684
    Orientacion: -0.100932 -0.154245 0.059178 0.981081
    Dedos levantados: 5
    Dedos: 1 1 1 1 1

```

Figura 82. Análisis movimiento 1h después de la ingesta del medicamento

En la imagen se observa el movimiento desde la segunda hasta quinta falange extendida y el movimiento de la primera falange todavía está en flexión, el posterior movimiento genera un cambio de velocidad produciéndose el pico propio de un movimiento de la persona en artritis, los demás puntos a partir del punto 10 indican evaluación de cada una de las articulaciones interfalángicas, donde se observan que el movimiento es lento con movimientos menos limitados hasta lograr el objetivo y por lo tanto un cambio en la posición en los ejes espaciales, ha mejorado respecto a los casos anteriores en la etapa intermedia y la persona sin medicación

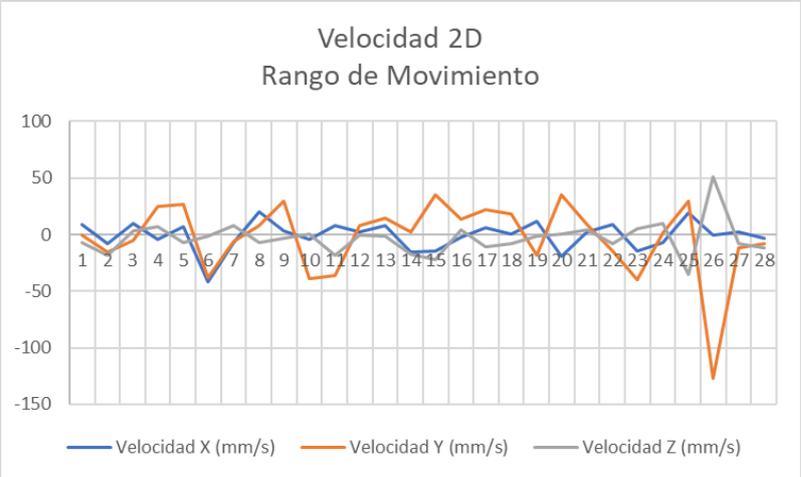
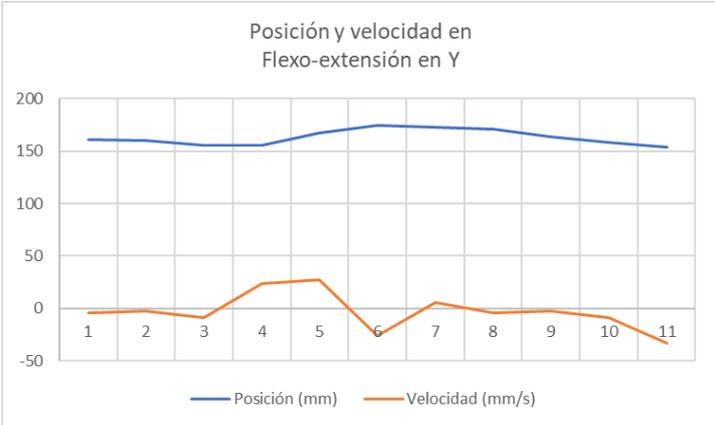
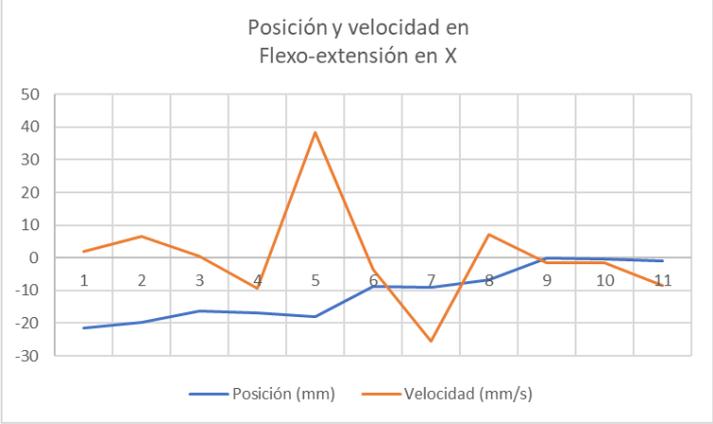


Figura 83. Análisis velocidad voluntario 1 con artritis reumatoide 1h después ingesta del medicamento

En la flexo-extensión existen mejoras significativas en un proceso con una evolución favorable controlando la enfermedad y permitiendo al voluntario realizar movimientos con bastante normalidad. Los movimientos en el plano frontal, evaluando los ejes X y Z donde se produce la extensión y flexión de los dedos presenta un movimiento normal, el abrir y cerrar el puño no resulta ser una complicación en comparación con los casos anteriores. La motricidad en toda su mano mejora realizando sus actividades normales



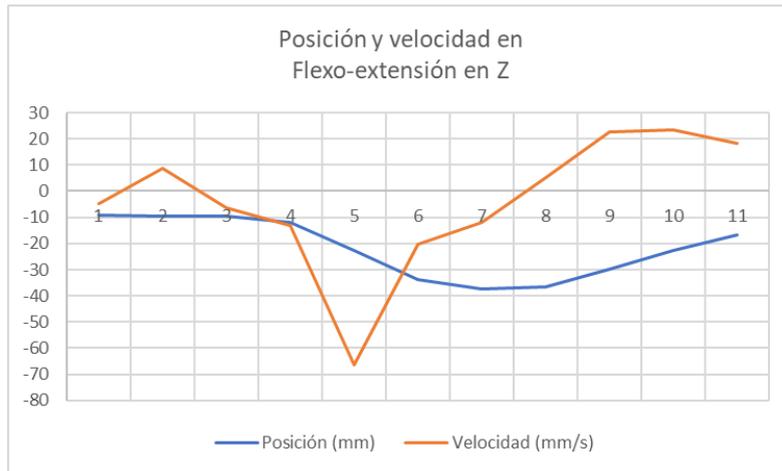


Figura 84. Análisis flexo-extensión voluntario 1, 1h después de la ingesta del medicamento

3.3.3. Voluntario 1 en rehabilitación

El voluntario presenta una deformación de Boutonnière en la quinta falange, empieza a perder motricidad fina según lo manifestado por la persona, por esta razón acude a un centro de fisioterapia tomando una previa de datos en abril del presente año. La metodología para este caso es la misma, se procede a una primera toma de datos analizando cada una de las gráficas para el caso y después de un mes se realiza la segunda toma de datos observando si existe una mejora en sus movimientos.

Primero analizamos los datos obtenidos por MATLAB® en su conexión con Leap Motion®. Los movimientos y graficas se han obtenido del apartado 3.3.2. con la ingesta de la medicación diaria para la enfermedad.

Posterior al mes de la terapia, el voluntario presenta mejoras significativas, la posición es una variable con pocos cambios, la toma de datos ha disminuido de 28 a 20 con movimientos continuos y con mayor facilidad de generar según ha mencionado el voluntario 1 con proceso de rehabilitación.

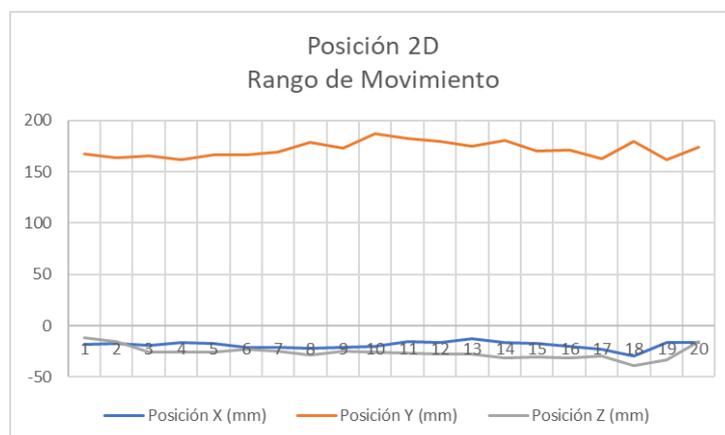


Figura 85. Análisis posición hombre 53 años después de un mes de rehabilitación

La velocidad a diferencia de la primera toma de datos todavía presenta discontinuidades propias del proceso de rehabilitación, pero se insiste en la mayor facilidad de movimientos (sentimiento propio del paciente). En los puntos 11-12 donde se realizar la valoración de flexión de la articulación

interfalángica de los dedos medio y anular presenta un movimiento cercano a la normalidad. Otros puntos para considerar son los puntos 16-18 en la evaluación de flexo-extensión realiza un movimiento muy similar a las personas sanas.

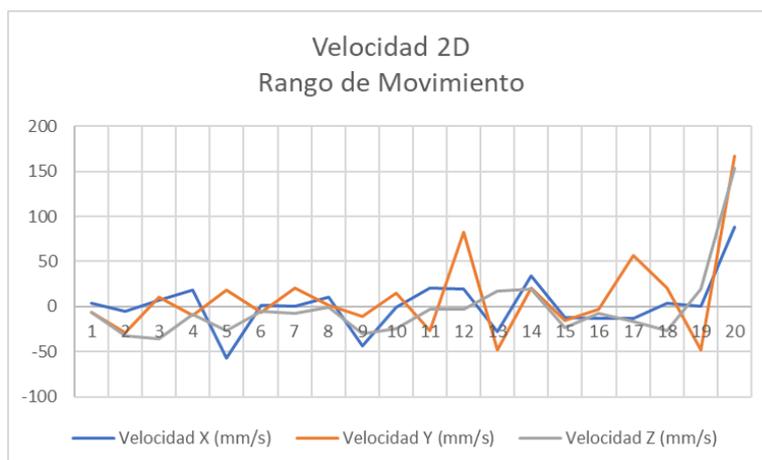
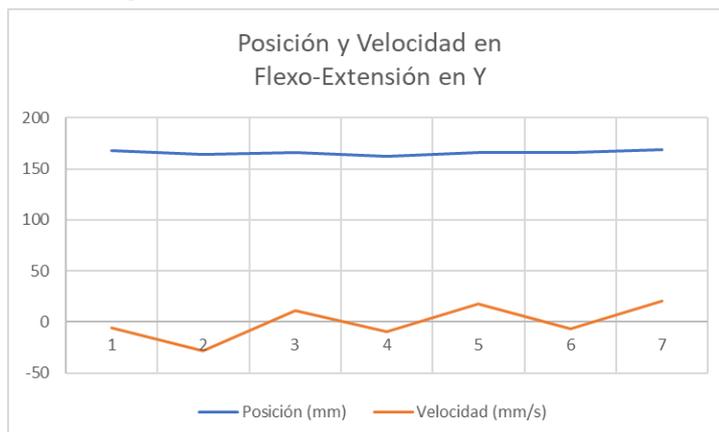
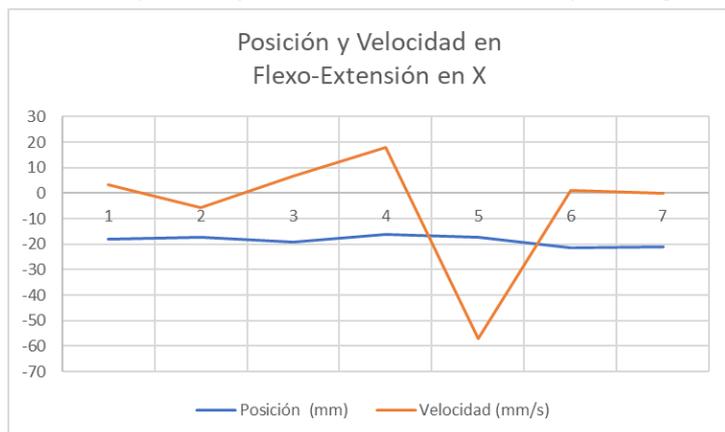


Figura 86. Análisis velocidad hombre 53 años después de un mes de rehabilitación

La evaluación en la flexo-extensión en comparación con la primera toma de datos del apartado 3.3.2. presentan diversos cambios positivos para el voluntario, su movimiento en el eje X es muy adecuado y con cierta similitud a las personas sanas con el movimiento de flexión con posterior extensión registradas en este eje coordenado. La posición y velocidad en la mano para el eje Y indica la estabilidad de la persona al realizar los movimientos obteniendo resultados alentadores con la fisioterapia debido a su mayor consistencia en las zonas de la mano y muñeca. Por último, el eje Z, la discontinuidad del movimiento es un factor no considerable en magnitud debido su análisis específico para articulaciones metacarpofalángicas e interfalángicas.



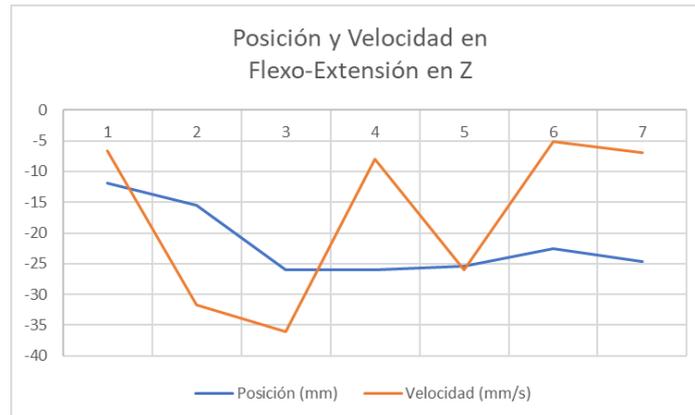


Figura 87. Análisis flexo-extensión hombre 53 años después de un mes de rehabilitación

3.4. Simulación de datos en tiempo real mediante UNITY®

Unity® durante los últimos años se ha convertido en una plataforma para el desarrollo de diversas aplicaciones, no solamente de videojuegos, por esta razón la simulación de datos en tiempo real nos permite visualizar los movimientos realizados por las articulaciones metacarpofalángicas e interfalángicas en cualquier tipo de persona [21]. La interfaz de Unity® es completamente didáctica y sencilla con un registro de personas, además dos opciones para capturar datos y animar una vez realizado el protocolo de valoración de movimientos. [30]

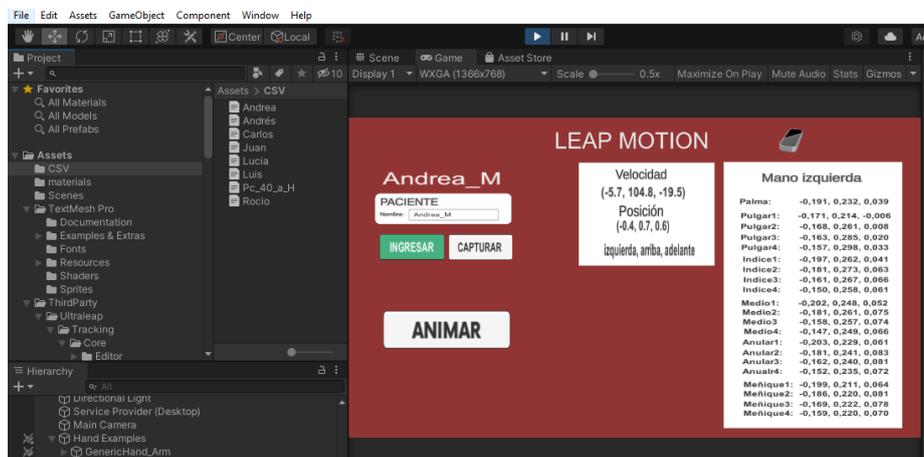


Figura 88. Interfaz gráfica toma de datos para simulación movimiento manos

Existe diversos scripts en Visual Basic, utilizando este lenguaje de programación debido a su orientación a objeto y por su conexión con librerías propias de Leap Motion®. Se han generado tres tipos diferentes de scripts, el primero para obtener cada uno de los puntos de las articulaciones en la simulación y sus coordenadas en el espacio, nombradas según la posición donde se encuentra la mano, es decir, utilizar una interfaz donde la persona pueda interpretar la ubicación de la mano respecto al sensor y no utilizar el espacio XYZ complicando su interpretación. El segundo script ayuda a registrar todos los datos obtenidos en tiempo real con Leap Motion® utilizando diversas librerías para su conexión. Y un tercer script dedicado para la simulación al visualizar los resultados establecidos en el protocolo 2.4. en una investigación basada en [18]

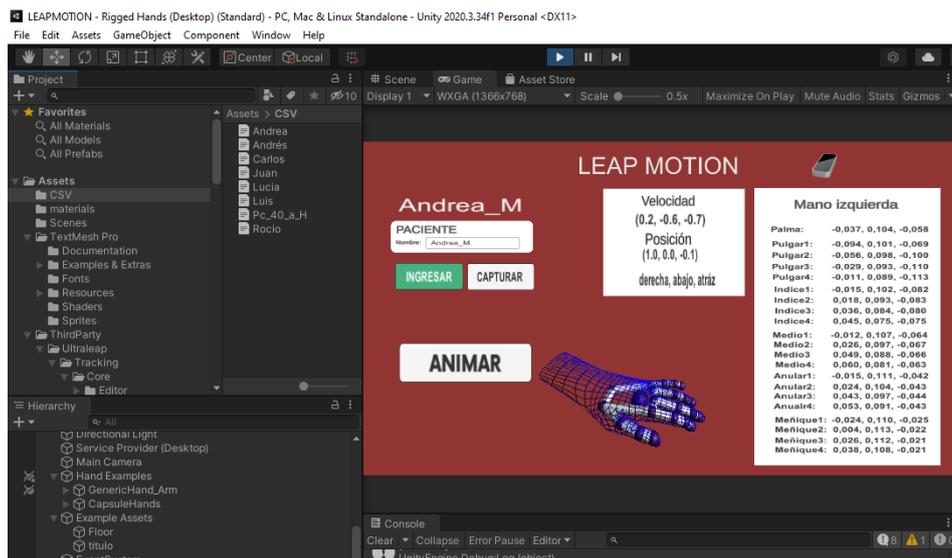


Figura 89. Captura de datos en Unity® tiempo real

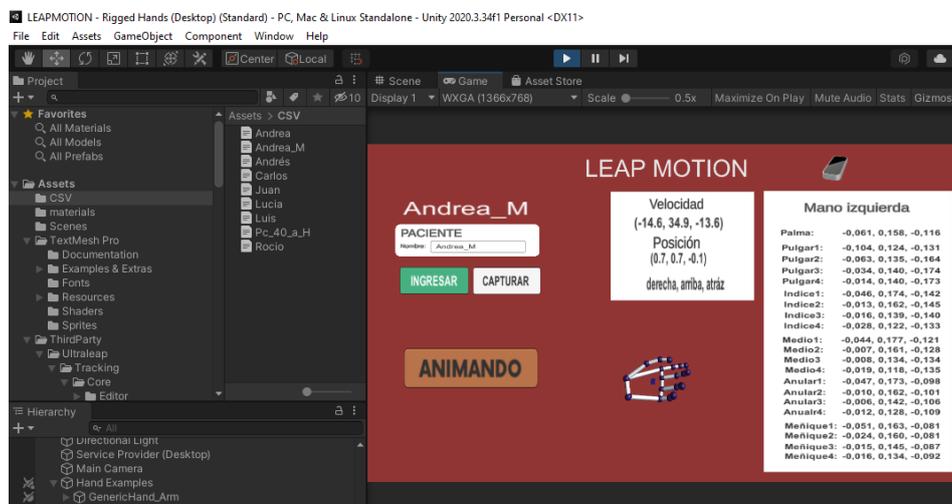


Figura 90. Animación con captura de movimiento mediante Leap Motion®

La simulación tiene un paciente adicional no registrado en apartados anteriores debido a decisiones específicas de investigación, dedicando este punto para analizarlo junto con la simulación. Se trata de un hombre de 73 años con un estadio IV, con sus articulaciones en grave estado, molestias al caminar debido con la ayuda de muletas, su caminata algunas veces data de forma cuadrupedia y necesita de una tercera persona para realizar determinadas actividades como alcanzar partes de su cuerpo. Como se observa en la Figura 150. la deformación de Boutonnière es demasiado visible, casi todas sus falanges presentan “cuellos de cisne”, es decir, la articulación interfalángica está completamente deformada y debido a un tratamiento inoportuno se ha complicado su estado de salud, pues se ha mantenido más de 40 años con la enfermedad sin consideración alguna de un médico que trate a fondo su caso.



Figura 91. Hombre 73 años con artritis reumatoide estadio grave

Se ha tomado un registro de dato necesario para conocer el comportamiento de sus articulaciones. En primer caso, la valoración según el protocolo lo realiza con 40 puntos, su posición debido a la deformidad de sus articulaciones no presenta un movimiento continuo, pero se espera estos resultados por el estado de salud de la persona de sexo masculino de 73 años.

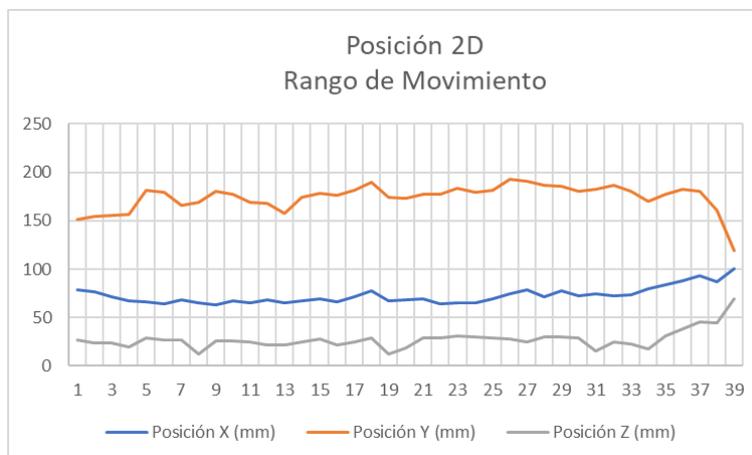


Figura 92. Análisis posición persona con estadio grave

La velocidad, para acotar el análisis y valoración de esta variable, los movimientos para cumplir con el protocolo necesitan de mucho esfuerzo por parte de la persona, en la evaluación individual de las articulaciones interfalángicas por razones obvias la generación del movimiento está completamente limitada al igual que la flexo-extensión de la mano completa, obteniendo los resultados de la Figura 126.

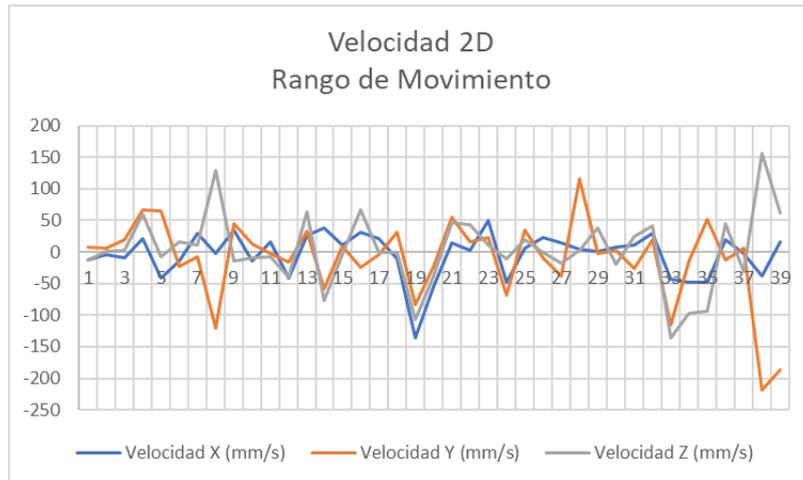


Figura 93. Análisis velocidad persona con estadio grave

La evaluación su flexo extensión en el plano XZ, presenta muchas discontinuidades debido a la condición crítica de la persona, es muy complejo indicar la gráfica debido a la complicación para la generación del movimiento y por lo tanto describir cada una de las acciones en la flexo-extensión. Es un caso particular y posterior a ello se reflejan estos movimientos en la simulación en Unity®.

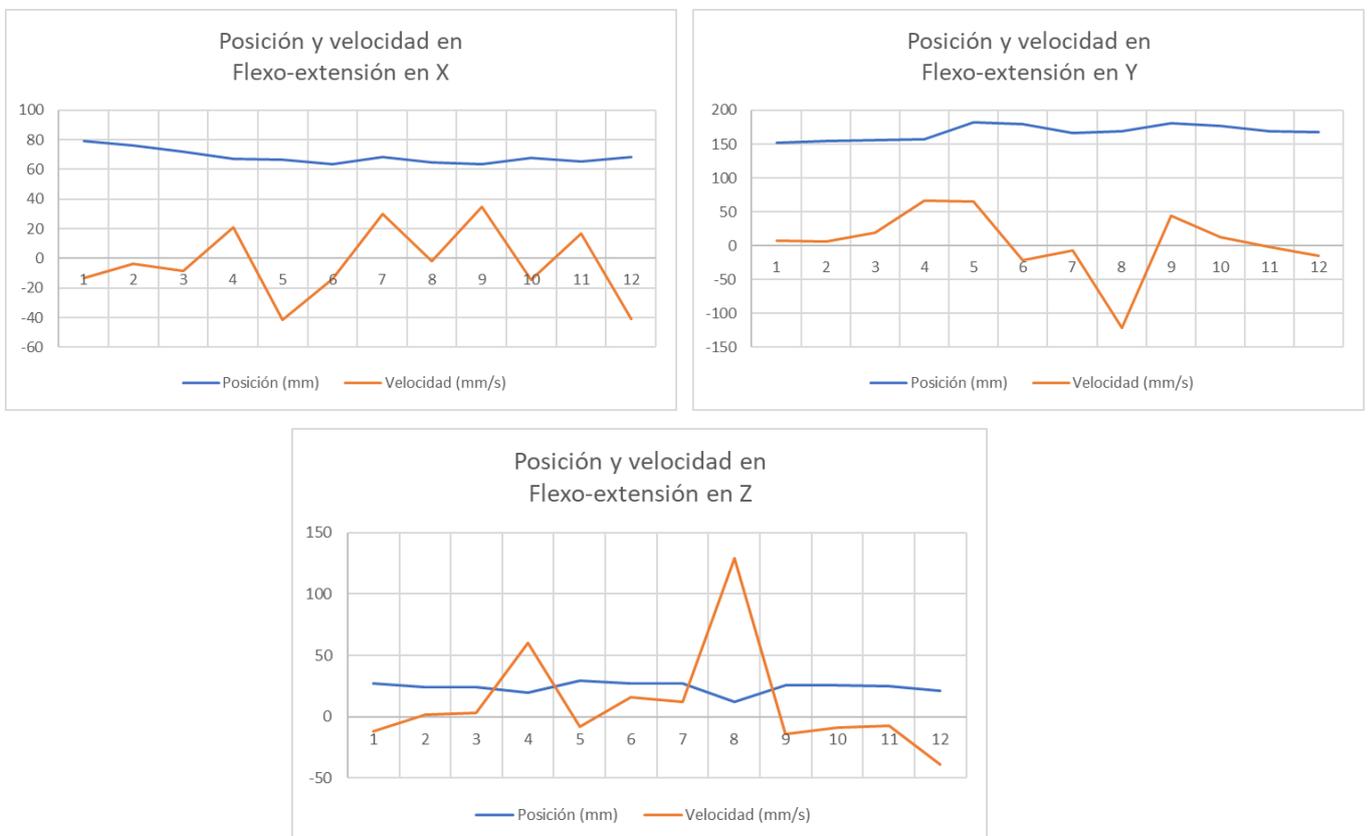


Figura 94. Análisis posición persona con estadio grave

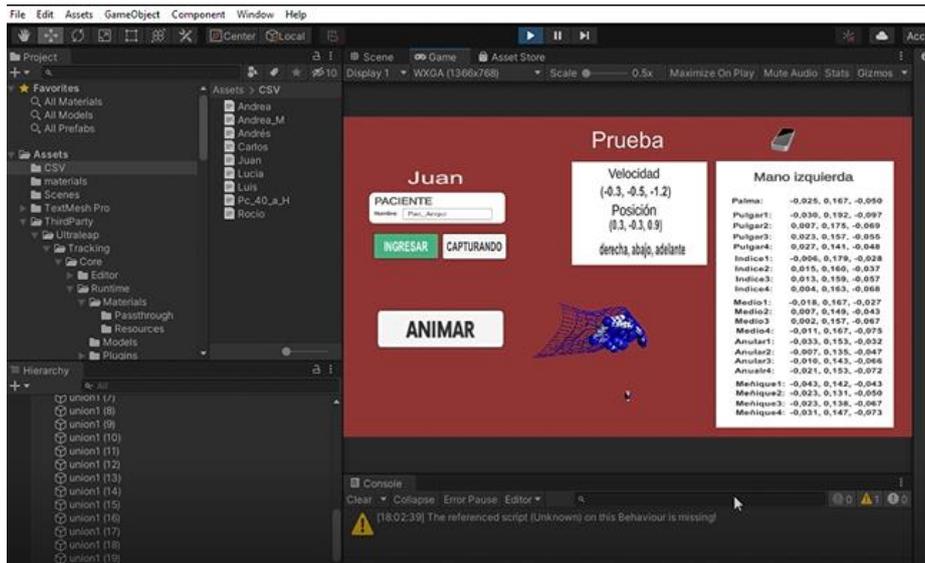


Figura 95. Captura de movimiento persona con estadio grave

Después de la captura de datos cumpliendo con el protocolo establecido, se realiza la animación de los movimientos en tiempo real entre Leap Motion® y Unity®.

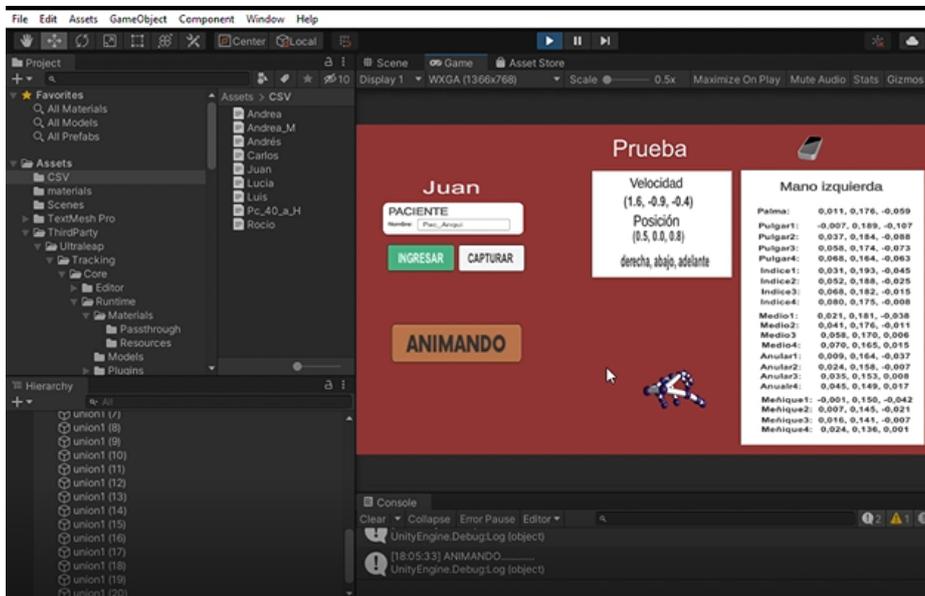


Figura 96. Animación captura de movimiento persona con estadio grave

4. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En este proyecto se propone analizar la biomecánica de manos en personas con artritis reumatoide mediante una metodología con protocolos uso de software y Leap Motion® para población de Ecuador.

Los factores de riesgos se han analizado en base a una encuesta con datos previo al consentimiento informado donde la mayoría de las personas prefiere cierto anonimato, es decir, se han recogido datos en base al sexo, edad y una variable dicotómica de sano o enfermo. El principal factor de riesgo en esta población se debe a factores hereditarios, de la consulta a los voluntarios familiares cercanos presentan la enfermedad, pero cada caso es diferente, unas personas han desarrollado la enfermedad mientras que otras tienen la enfermedad degenerativa sin desarrollar.

Al establecer el protocolo de movimientos para la evaluación de articulaciones interfalángicas y metacarpofalángicas la captura de datos mediante MATLAB® ha permitido analizar la flexo-extensión de las articulaciones tanto en personas sanas como enfermas. El enlace de Leap Motion® con MATLAB® permite al sensor capturar ciertos datos de posición y velocidad representados en gráficas comparando la generación de movimientos y su limitación en los casos con voluntarios enfermos.

La evaluación y valoración de la fuerza es uno de los puntos notorios dentro del proyecto. Personas con grandes limitaciones para realizar movimientos también presentan problemas para generar una fuerza considerable respecto a las personas con el mismo sexo y edad. Voluntarios con artritis reumatoide en algunos casos tienen una fuerza hasta tres veces menos que una persona sana y existe ahí una complicación debido a que la persona con la enfermedad degenerativa por sí misma no puede realizar ciertas acciones y depende de una tercera persona para complementar la acción (como abrir un refresco, por ejemplo).

El comportamiento de los voluntarios sanos nos sirve como referencia para conocer el estado de las articulaciones y tener cierta tendencias a los principales movimientos como la extensión y flexión de las falanges, esto en comparación con los voluntarios enfermos existe una gran diferencia en muchos casos teniendo ciertas excepciones y particularidades donde no han desarrollado por completo la enfermedad con movimientos similares a una persona sana o el voluntario con estadio grave con deformación de Boutonnière y cuellos de cisne en sus cuatro falanges, sus resultados marcan muchas limitaciones al cumplir con el protocolo establecido.

La diversa funcionalidad del sensor Leap Motion® ha permitido obtener los datos en tiempo real del protocolo para la evaluación y valoración de movimiento, resulta interactivo para muchos voluntarios observar la animación de los movimientos generados por ello en Unity® un software que en el último tiempo ha tomado protagonismo en diversos campos. Mediante una interfaz sencilla se han registrado ciertos datos de voluntarios con su respectiva animación facilitando la captura de movimiento y posterior procesamiento de datos reflejados en cada una de las gráficas presentes el trabajo.

Como línea futura el trabajo podría extenderse a la mayor toma de personas tanto sanas como enfermas para determinar un patrón de movimientos y posiciones de cada una de las falanges y así poder establecer quizá mejores protocolos para la evaluación y valoración en la generación de movimientos.

Además, una vez establecido mejores patrones en diferentes posiciones entre falanges y muñeca, se podría diagnosticar anomalías en esta zona del cuerpo con la ayuda de Deep Learning. Con una prueba sencilla este mecanismo puede ayudar a la población ante desconocimiento de la enfermedad. Estos pacientes tienen la enfermedad sin presentar síntomas, aunque en un futuro progresan hasta alcanzar un estadio grave muy avanzado ya es difícil de tratar debido a una cura todavía inexistente.

5. REFERENCIAS

- [1] Amezcua-García, J. A., Bravo-Zanoguera, M. E., Avitia, R. L., Reyna, M. A., & Cuevas-González, D. (2021). *OpenSim Visualization of the Classification of Finger Movements Based on Electromyography Signal as the Single-Input Variable during Predefined Movements*. 7. <https://doi.org/10.3390/ecsa-8-11262>
- [2] Bostanci, H., Emir, A., Tarakci, D., & Tarakci, E. (2020). Video game-based therapy for the non-dominant hand improves manual skills and grip strength. *Hand Surgery and Rehabilitation*, 39(4), 265–269. <https://doi.org/10.1016/j.hansur.2020.02.011>
- [3] Bouchaala, F., Laatar, R., Lahiani, M., Vuillerme, N., Zouabi, A., Borji, R., Rebai, H., & Sahli, S. (2021). Time-of-day effects on the postural control and symptoms in women with rheumatoid arthritis. *Chronobiology International*, 38(9), 1290–1298. <https://doi.org/10.1080/07420528.2021.1927069>
- [4] Bullock, J., Rizvi, S. A. A., Saleh, A. M., Ahmed, S. S., Do, D. P., Ansari, R. A., & Ahmed, J. (2019). Rheumatoid arthritis: A brief overview of the treatment. In *Medical Principles and Practice* (Vol. 27, Issue 6, pp. 501–507). S. Karger AG. <https://doi.org/10.1159/000493390>
- [5] Cabrera, N. (2017). *Tratamiento quirúrgico de las deformidades en Boutonniere y cuello de cisne del pulgar en la artritis reumatoidea*. 31, 24–37.
- [6] Cailliet, R. (2016). *LIBRO ANATOMIA FUNCIONAL BIOMECANICA*.
- [7] Chophuk, P., Chumpen, S., Tungjitkusolmun, S., & Phasukkit, P. (2016, February 4). Hand postures for evaluating trigger finger using Leap Motion® controller. *BMEiCON 2015 - 8th Biomedical Engineering International Conference*. <https://doi.org/10.1109/BMEiCON.2015.7399560>
- [8] Colombini, G., Duradoni, M., Carpi, F., Vagnoli, L., & Guazzini, A. (2021). Leap Motion® technology and psychology: A mini review on hand movements sensing for neurodevelopmental and neurocognitive disorders. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 18, Issue 8). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ijerph18084006>
- [9] Cruz-Castillo, Y., Montero, N., Salazar-Ponce, R., & Villacís-Tamayo, R. (2019). Quality of Life in Ecuadorian Patients with Rheumatoid Arthritis: A Cross-sectional Study. *Reumatología clínica*, 15(5), 296–300. <https://doi.org/10.1016/j.reuma.2017.08.012>

- [10] de Souza, M. R. S. B., Gonçalves, R. S., & Carbone, G. (2021). Feasibility and performance validation of a Leap Motion® controller for upper limb rehabilitation. *Robotics*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/robotics10040130>
- [11] Fabrizia Corona, et al. (2018). *2018 IEEE Games, Entertainment, Media Conference (GEM): 15-17 Aug. 2018*.
- [12] Fonk, R., Schneeweiss, S., Simon, U., & Engelhardt, L. (2021). Hand motion capture from a 3d Leap Motion® controller for a musculoskeletal dynamic simulation. *Sensors (Switzerland)*, 21(4), 1–14. <https://doi.org/10.3390/s21041199>
- [13] Galván-Ruiz, J., Travieso-González, C. M., Tejera-Fettmilch, A., Pinan-Roescher, A., Esteban-Hernández, L., & Domínguez-Quintana, L. (2020). Perspective and evolution of gesture recognition for sign language: A review. In *Sensors (Switzerland)* (Vol. 20, Issue 12, pp. 1–31). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/s20123571>
- [14] Garcia-Porrero, & Juan A. (2017). *ANATOMÍA HUMANA*.
- [15] Giannini, N. (2020). *One year in review 2020: pathogenesis of rheumatoid arthritis*.
- [16] Hu, Z., Yang, C., He, W., Li, Z., & He, S. (2017). *Modeling and Simulation of Hand based on OpenSim and Leap Motion®*.
- [17] *Leap Motion® Controller TM*. (2018). <https://www.ultraleap.com/product/vr-developer-mount/>
- [18] Lee, J. H., Asakawa, D. S., Dennerlein, J. T., & Jindrich, D. L. (2015). Finger muscle attachments for an OpenSim upper-extremity model. *PLoS ONE*, 10(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0121712>
- [19] Liang, C., Yang, C., Liu, C., & Feng, Y. (2019). *MYO Armband and Leap Motion® data fusion with OpenSim based Virtual Reality Environment*. <https://hal-lirmm.ccsd.cnrs.fr/lirmm-02315560>
- [20] Littlejohn, E. A., & Monrad, S. U. (2018). Early Diagnosis and Treatment of Rheumatoid Arthritis. In *Primary Care - Clinics in Office Practice* (Vol. 45, Issue 2, pp. 237–255). W.B. Saunders. <https://doi.org/10.1016/j.pop.2018.02.010>
- [21] Muffoletto, M. (2022). *The Magazine of the Algorithm CommUnity®*.
- [22] Orlando, D., & Guerrero, B. (2015). *Manual de Interfaz Gráfica de Usuario en MATLAB®*. www.matpic.com

- [23] Romero Jurado, Manuel. (2016). *Artritis reumatoide información para pacientes y familiares*. Letramédica.
- [24] Rubin, D. A. (2019). MR and ultrasound of the hands and wrists in rheumatoid arthritis. Part II. Added clinical value. In *Skeletal Radiology* (Vol. 48, Issue 6, pp. 837–857). Springer Verlag. <https://doi.org/10.1007/s00256-019-03180-6>
- [25] Smolen, J. S., Aletaha, D., Barton, A., Burmester, G. R., Emery, P., Firestein, G. S., Kavanaugh, A., McInnes, I. B., Solomon, D. H., Strand, V., & Yamamoto, K. (2018). Rheumatoid arthritis. *Nature Reviews Disease Primers*, 4. <https://doi.org/10.1038/nrdp.2018.1>
- [26] Sparks, J. A. (2019). In the Clinic® rheumatoid arthritis. In *Annals of Internal Medicine* (Vol. 170, Issue 1, pp. ITC1–ITC15). American College of Physicians. <https://doi.org/10.7326/AITC201901010>
- [27] Tanaka, Y., Takeuchi, T., Soen, S., Yamanaka, H., Yoneda, T., Tanaka, S., Nitta, T., Okubo, N., Genant, H. K., & van der Heijde, D. (2021). Effects of Denosumab in Japanese Patients with Rheumatoid Arthritis Treated with Conventional Antirheumatic Drugs: 36-month Extension of a Phase III Study. *The Journal of Rheumatology*, 48(11), 1663–1671. <https://doi.org/10.3899/jrheum.201376>
- [28] Tarakci, E., Arman, N., Tarakci, D., & Kasapcopur, O. (2020). Leap Motion® Controller-based training for upper extremity rehabilitation in children and adolescents with physical disabilities: A randomized controlled trial. *Journal of Hand Therapy*, 33(2), 220-228.e1. <https://doi.org/10.1016/j.jht.2019.03.012>
- [29] Varga, G., Stoicu-Tivadar, L., & Nicola, S. (2021). Serious gaming and AI supporting treatment in rheumatoid arthritis. In *Public Health and Informatics: Proceedings of MIE 2021* (pp. 699–703). IOS Press. <https://doi.org/10.3233/SHTI210262>
- [30] Wells, R. (2020). *2020 Unity® 2020 By Example A project-based guide to building 2D, 3D, augmented reality, and virtual reality games from scratch, 3rd Edition by Robert Wells (z-lib.org)*.
- [31] Witte, T. (2019). Sjögren's syndrome. In *Zeitschrift für Rheumatologie* (Vol. 78, Issue 6, pp. 511–517). Dr. Dietrich Steinkopff Verlag GmbH and Co. KG. <https://doi.org/10.1007/s00393-019-0625-8>

DOCUMENTO 02:
PRESUPUESTO

Tabla de Contenido

1. Coste de la mano de obra.....	3
2. Coste hardware	3
3. Costo de Software	4
4. Coste presupuesto final.....	5

Índice de tablas

<i>Tabla 1. Coste de la mano de obra</i>	<i>3</i>
<i>Tabla 2. Coste del hardware en su adquisición.....</i>	<i>4</i>
<i>Tabla 3. Coste amortización de los productos</i>	<i>4</i>
<i>Tabla 4. Coste del software</i>	<i>4</i>
<i>Tabla 5. Coste presupuesto final del proyecto.....</i>	<i>5</i>

1. Coste de la mano de obra

En la realización del proyecto se ha requerido las aptitudes de un ingeniero biomédico junior, encargado principal de la investigación trabajando con diversas personas encargándose de la supervisión y el estudio observacional llevado a cabo durante la experimentación. Según los datos en territorio español indicados por indeed (sitio web con salarios actualizados en 2022) un ingeniero biomédico tiene un sueldo promedio aproximado de 41.000€ anuales. Las personas con experiencia, es decir, un ingeniero biomédico senior genera un sueldo de 51.000€ al año, mientras el ingeniero junior tiene una ganancia de 29.000€. Estas referencias nos permiten analizar el salario mensual para el ingeniero junior con 12 pagas, con ganancia aproximada de 2400€. El ingeniero senior obtendrá un salario de 4300€ mensuales.

En España el Boletín Oficial del Estado del Ministerio de Empleo y Seguridad Social, la empresa destina para cada empleado un 5,5% de prestaciones por desempleo, un 23,6% del salario mensual para contingencias comunes, otro 0,6% del sueldo en formación profesional, 1,50% en accidentes de trabajo y enfermedades profesionales. Por último, un 0,2% del salario mensual destinado al Fondo de Garantía Salarial.

Con todos los factores indicados, en el presente proyecto la empresa destinará para el ingeniero junior un salario mensual de 3200 € aproximados incluidos la seguridad social y el sueldo bruto. Para el ingeniero senior este valor aumenta hasta los 5600€. El objetivo ahora es tener una proyección del coste real de la mano de obra en la presente investigación, para ello se obtiene un desglose de las horas totales del proyecto con la respectiva ganancia del ingeniero junior.

Tabla 1. Coste de la mano de obra

Trabajador	Coste/Hora*	Horas trabajadas	Coste total
<i>Ingeniero biomédico junior</i>	23€	600	13800€
		Coste total MDO	13800€

**Incluido impuestos*

2. Coste hardware

Para la investigación del movimiento de las articulaciones de la mano en las personas con artritis reumatoide es dispensable la utilización del ordenador y el dispositivo principal Leap Motion®. Por razones de depreciación se ha incluido al ordenador y al sensor, debido a las horas trabajadas específicamente con estos componentes durante el desarrollo del proyecto. En la Tabla 2 se indica los costes iniciales de los equipos utilizados.

Tabla 2. Coste del hardware en su adquisición

Producto	Cantidad	Coste*
LAPTOP-56CERDU3 Intel(R) Core (TM) i3- 6006U CPU @ 2.00GHz RAM 8.00GB	1u	500€
Ratón Inalámbrico HP	1u	25€
Leap Motion®	1u	100€
Dinamómetro de mano	1u	45€
Coste total		670€

*Impuesto sobre el Valor Añadido (IVA) del 21 %

Es necesario aplicar a cada uno de los componentes la Amortización, periodo en el cual ha sido utilizado el hardware y el precio de cada uno de los componentes. La amortización del 12% se ha implementado en el presente proyecto.

Tabla 3. Coste amortización de los productos

Producto	Amortización	Coste*	Depreciación**
LAPTOP-56CERDU3 Intel(R) Core (TM) i3- 6006U CPU @ 2.00GHz RAM 8.00GB	12%	500€	60€
Ratón Inalámbrico HP	12%	25€	2,64€
Leap Motion®	12%	100€	12€
Dinamómetro de mano	12%	45€	5,4€
Coste total		80,04€	

** Impuesto sobre el Valor Añadido (IVA) del 21 %

3. Costo de Software

Para el desarrollo del proyecto se han utilizado diversas licencias tanto para la toma de datos, simulación, recopilación de datos, gráficas y texto escrito.

Tabla 4. Coste del software

Software	Coste*
Licencia de Matlab® r2021b**	800€
Licencia de Microsoft Office 365	150€
Licencia de Unity®	0€

<i>Licencia Ultraleap</i>	0€
<i>Leap Motion®</i>	
Coste total	950€

* Impuesto sobre el Valor Añadido (IVA) del 21 %

** Licencias válidas para un año

4. Coste presupuesto final

El costo total para el desarrollo del proyecto se detalla en la Tabla 5.

Tabla 5. Coste presupuesto final del proyecto

Tipo	Costes parciales*
<i>Cuadro personal</i>	13800€
<i>Cuadro Hardware</i>	750.04€
<i>Cuadro Software</i>	950€
Coste total	15500.04€

*Impuesto sobre el Valor Añadido (IVA) del 21 %.

El costo con su presupuesto final destinado para el proyecto de investigación es de QUINCE MIL QUINIENTOS CON CUATRO EUROS

DOCUMENTO 03:
ANEXOS

ANALISIS POSICIÓN VELOCIDAD Y FLEXO-EXTENSIÓN PERSONAS SANAS	5
1. Voluntario 13: Hombre de 41 años sano	5
1.1. Análisis flexo-extensión voluntario 13	6
2. Voluntario 14: Hombre de 50 años sana	7
2.1. Análisis flexo-extensión voluntario 14	8
3. Voluntario 15: Mujer de 43 años sana	9
3.1. Análisis flexo-extensión voluntario 15	11
4. Voluntario 16: Mujer de 51 años sana	12
4.1. Análisis flexo-extensión voluntario 16	15
5. Voluntario 17: Hombre de 48 años sano	17
5.1. Análisis flexo-extensión voluntario 17	19
6. Voluntario 18: Mujer de 49 años sana	20
6.1. Análisis flexo-extensión voluntario 18	22
7. Voluntario 19: Hombre de 41 años sano	23
8. Voluntario 20: Hombre de 45 años sana	25
8.1. Análisis flexo-extensión voluntario 20	27
ANALISIS EJES COORDENADOS POSICION Y VELOCIDAD PERSONSAS SANAS	29
• Voluntario 1	29
• Voluntario 2	29
• Voluntario 3	30
• Voluntario 4	31
• Voluntario 5	31
• Voluntario 6	32
• Voluntario 7	33
• Voluntario 8	34
• Voluntario 9	35
• Voluntario 10	36
ANALISIS EJES COORDENADOS POSICION Y VELOCIDAD PERSONSAS SANAS	38
• Voluntario 11	38
• Voluntario 12	38

- Voluntario 13..... 39
- Voluntario 14..... 40
- Voluntario 15..... 41
- Voluntario 16..... 42
- Voluntario 17..... 43
- Voluntaria 18..... 45
- Voluntario 19..... 46
- Voluntario 20..... 47

Índice de figuras

<i>Figura 1. Análisis posición 41 años sano</i>	5
<i>Figura 2. Análisis velocidad 41 años sano</i>	6
<i>Figura 3. Análisis flexo-extensión 41 años sano</i>	7
<i>Figura 4. Análisis posición 50 años sano</i>	8
<i>Figura 5. Análisis velocidad 50 años sano</i>	8
<i>Figura 6. Análisis flexo-extensión 50 años sano</i>	9
<i>Figura 7. Análisis posición 43 años sana</i>	10
<i>Figura 8. Análisis movimiento mujer 43 años sana</i>	10
<i>Figura 9. Análisis velocidad 43 años sana</i>	11
<i>Figura 10. Análisis flexo-extensión 43 años sana</i>	12
<i>Figura 11. Análisis posición 51 años sana primera toma de datos</i>	13
<i>Figura 12. Análisis velocidad 47 años sana segunda toma de datos</i>	13
<i>Figura 13. Análisis movimientos mujer 51 años sana</i>	14
<i>Figura 14. Análisis posición 51 años sana segunda toma de datos</i>	15
<i>Figura 15. Análisis velocidad 51 años sana segunda toma de datos</i>	15
<i>Figura 16. Análisis flexo-extensión 51 años sana primera toma de datos</i>	16
<i>Figura 17. Análisis flexo-extensión 51 años sana segunda toma de datos</i>	17
<i>Figura 18. Análisis posición 48 años sano</i>	18
<i>Figura 19. Análisis movimiento primer pico hombre 48 años sano</i>	18
<i>Figura 20. Análisis movimiento segundo pico hombre 48 años</i>	19
<i>Figura 21. Análisis velocidad 48 años sano</i>	19
<i>Figura 22. Análisis flexo-extensión 48 años sano</i>	20
<i>Figura 23. Análisis posición 49 años sana</i>	21
<i>Figura 24. Análisis velocidad 49 años sana</i>	21
<i>Figura 25. Análisis movimiento mujer 49 años sana</i>	22
<i>Figura 26. Análisis flexo-extensión 49 años sana</i>	23
<i>Figura 27. Análisis posición 41 años sano</i>	24
<i>Figura 28. Análisis velocidad 41 años sano</i>	25
<i>Figura 30. Análisis posición 45 años sano</i>	26
<i>Figura 31. Análisis velocidad 45 años sano</i>	26

<i>Figura 32. Análisis movimiento primer pico hombre 45 años</i>	<i>27</i>
<i>Figura 33. Análisis flexo-extensión 45 años sana</i>	<i>28</i>
<i>Figura 34. Posición y velocidad en sus tres ejes coordenados 53 años enfermo</i>	<i>29</i>
<i>Figura 35. Posición y velocidad en sus tres ejes coordenados 54 años enfermo</i>	<i>30</i>
<i>Figura 36. Posición y velocidad en sus tres ejes coordenados 67 años enferma</i>	<i>31</i>
<i>Figura 37. Posición y velocidad tres ejes coordenados 94 años enferma.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 38. Posición y velocidad ejes coordenados 50 enferma</i>	<i>32</i>
<i>Figura 39. Posición y velocidad ejes coordenados 40 años enferma.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 40. Posición y velocidad tres ejes coordenados 43 años enferma.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 41. Posición y velocidad tres ejes coordenados 74 años enferma.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 42. Posiciones obtenidas para análisis de movimientos</i>	<i>35</i>
<i>Figura 43. Posición y velocidad tres ejes coordenados 53 años enfermo.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 44. Análisis movimientos persona con Síndrome de Sjögren</i>	<i>37</i>
<i>Figura 45. Posición y velocidad tres ejes coordenados 49 años enferma.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 46. Análisis posición y velocidad tres ejes coordenados</i>	<i>38</i>
<i>Figura 47. Análisis posición y velocidad tres ejes coordenados</i>	<i>39</i>
<i>Figura 48. Análisis posición y velocidad tres ejes coordenados</i>	<i>40</i>
<i>Figura 49. Análisis posición y velocidad tres ejes coordenados</i>	<i>41</i>
<i>Figura 50. Análisis posición y velocidad tres ejes coordenados</i>	<i>41</i>
<i>Figura 51. Análisis posición y velocidad tres ejes coordenados primera toma de datos</i>	<i>42</i>
<i>Figura 52. Análisis posición y velocidad tres ejes coordenados segunda toma de datos</i>	<i>43</i>
<i>Figura 53. Análisis movimiento hombre 48 años sano</i>	<i>45</i>
<i>Figura 54. Análisis posición y velocidad tres ejes coordenados</i>	<i>45</i>
<i>Figura 55. Análisis posición y velocidad tres ejes coordenados</i>	<i>46</i>
<i>Figura 56. Análisis posición y velocidad tres ejes coordenados</i>	<i>47</i>
<i>Figura 57. Análisis movimiento segundo pico hombre 45 años sano</i>	<i>48</i>
<i>Figura 58. Análisis posición y velocidad tres ejes coordenados</i>	<i>48</i>

ANÁLISIS POSICIÓN VELOCIDAD Y FLEXO-EXTENSIÓN PERSONAS SANAS

1. Voluntario 13: Hombre de 41 años sano

El voluntario no presenta tumefacciones en las articulaciones afectadas cuando una persona padece de la artritis reumatoide, sus movimientos se mantienen, no existe limitaciones salvo al final del protocolo realizando una acción rápida.

La posición se mantiene constante como en la mayoría de los casos de los pacientes sanos, los movimientos durante la captura de datos en tiempo real por parte de Leap Motion® se realizaron de forma suave y lenta, pero como se considera a esta población sin limitaciones en sus acciones existen picos debido a la velocidad variable en cada una de sus falanges. La velocidad para este análisis presenta una uniformidad bastante buena, no se observan picos en donde se necesite una comparación adicional respecto a otros puntos a lo largo de la toma de datos, es una persona joven que no padece de enfermedad y por eso la amplitud del movimiento lo realiza sin ninguna complicación

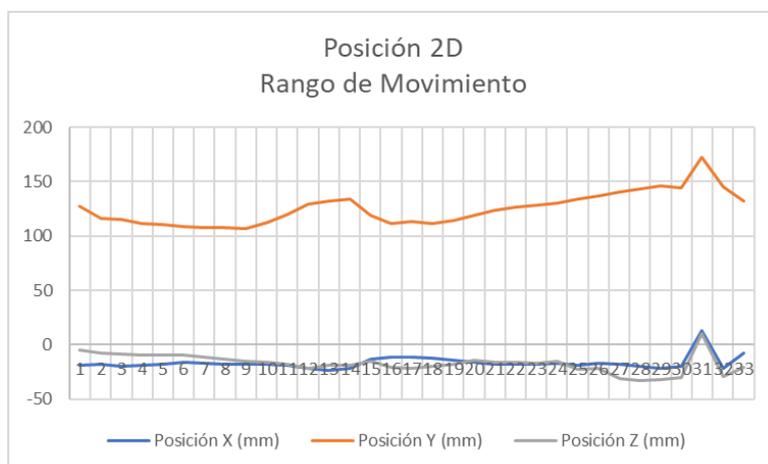


Figura 97. Análisis posición 41 años sano

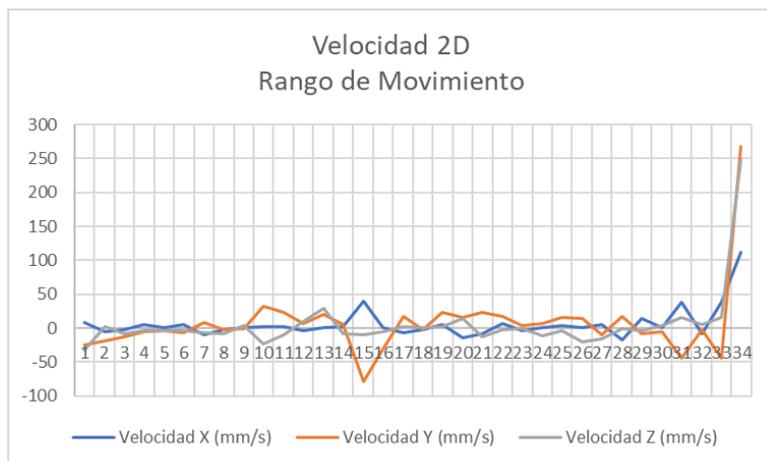
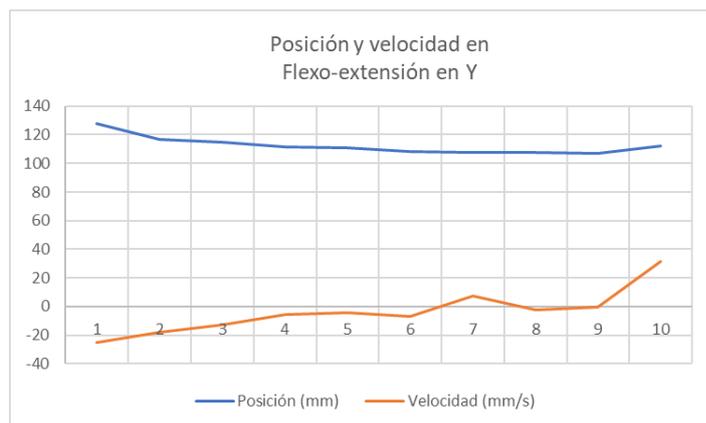
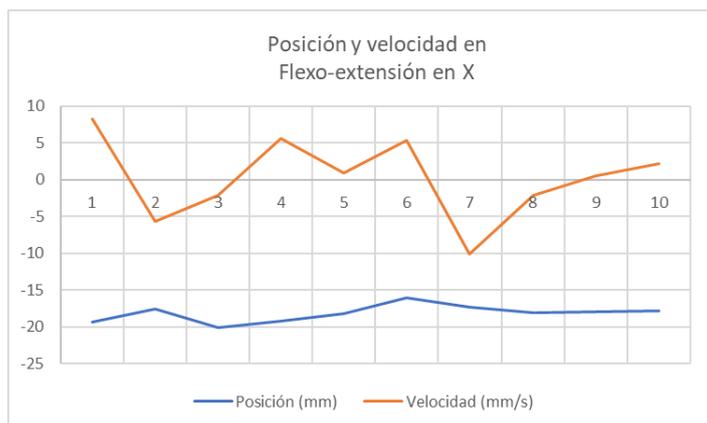


Figura 98. Análisis velocidad 41 años sano

1.1. Análisis flexo-extensión voluntario 13

La persona para este movimiento evaluando las articulaciones metacarpofalángicas e interfalángicas no tiene limitaciones, según lo descrito en el apartado 2.4. cumple con los objetivos del protocolo para este tipo de movimiento de extensión y flexión de las falanges.

Las dos variables analizables, la posición y la velocidad, presentan uniformidad en sus movimientos realizando ciertas variaciones en esta última variable por motivos coherentes respecto a las acciones de los dedos donde se producen hasta movimientos involuntarios mencionados en otros apartados



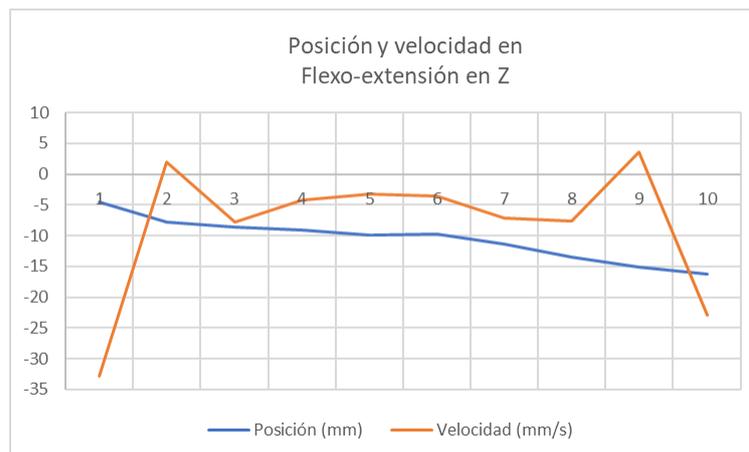


Figura 99. Análisis flexo-extensión 41 años sano

2. Voluntario 14: Hombre de 50 años sana

La persona de esta edad nos proporciona una idea sobre ciertos movimientos respecto a las personas con afecciones en las articulaciones interfalángicas y metacarpofalángicas, el voluntario no presenta inflamaciones en las articulaciones, además no tienen ningún factor de riesgos asociado a la enfermedad, indica que ningún miembro de su familia tiene esta enfermedad degenerativa o alguna asociación, tampoco es una persona fumadora y desde hace años ha dejado de beber alcohol completamente. Su exposición al polvo no presenta mayores riesgos salvo la limpieza de su domicilio.

La posición durante los movimientos realizados para la valoración de las principales articulaciones de los dedos responde a una invariabilidad en esta variable. En los tres ejes coordenadas el movimiento es uniforme excepto en ciertos puntos del eje Y debido al descenso de la cara palmar al obtener la información de su movimiento. La velocidad es un movimiento variante según las diferentes acciones y cambios en el estado de la mano, desde un estado de extensión a flexión en pocos segundos o la evaluación de cada una de las falanges con sus respectivas articulaciones. Es importante mencionar que la mayoría de personas tanto enfermas como sanas presentan complicaciones al realizar la flexión entre la quinta y cuarta falange después de realizar el movimiento de abrir y cerrar el puño.

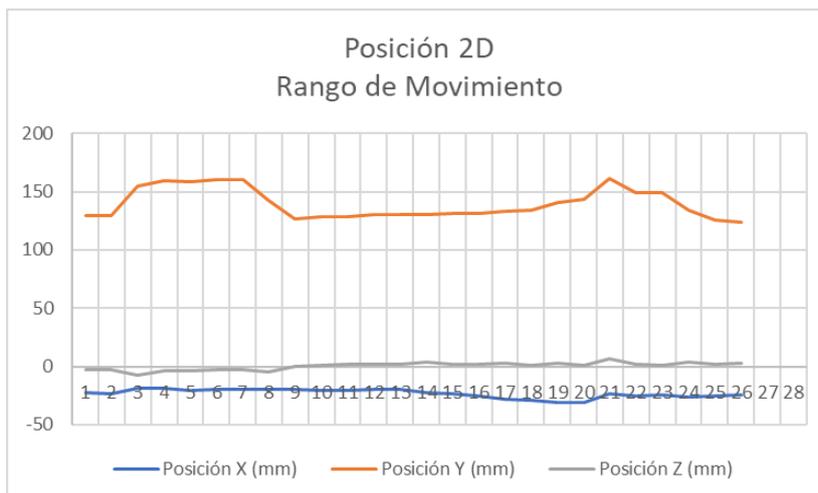


Figura 100. Análisis posición 50 años sano

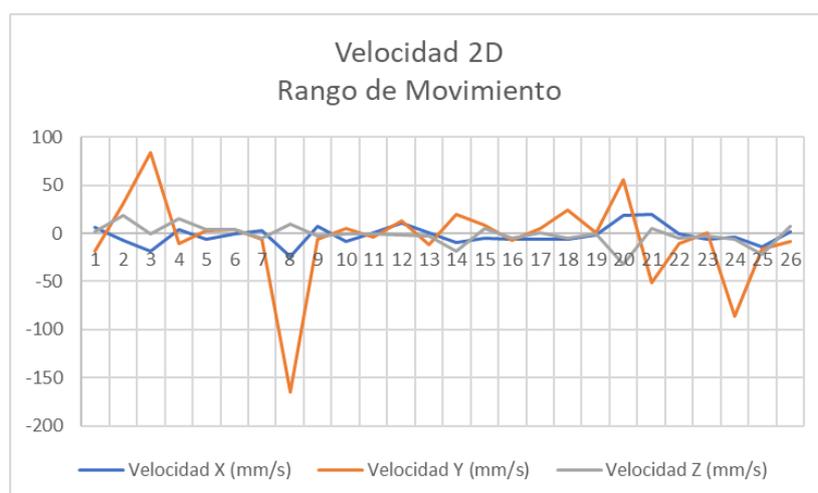


Figura 101. Análisis velocidad 50 años sano

2.1. Análisis flexo-extensión voluntario 14

La condición de salud del voluntario en la actualidad proporciona movimientos rápidos e instantáneos logrando una flexo-extensión en pocos datos como muestra la captura de datos en tiempo real. Desde el punto de toma de datos con la mano extendida hasta abrir y cerrar el puño Leap Motion® capta 8 posiciones, dentro de las gráficas se presenta el comportamiento de la posición y velocidad en los 3 ejes espaciales con muy ligeras variaciones en cuanto a la dimensión de las variables mencionadas

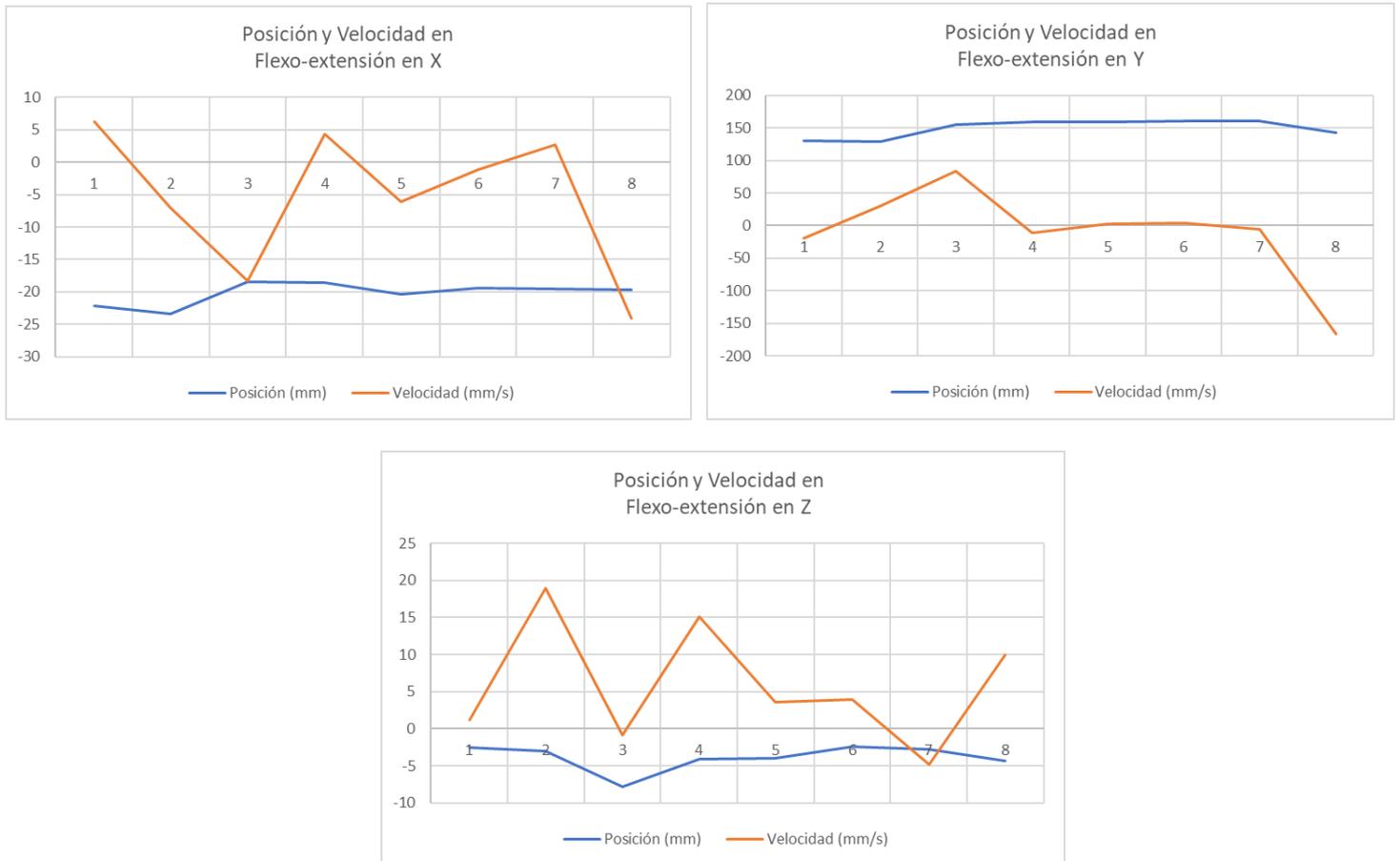


Figura 102. Análisis flexo-extensión 50 años sano

3. Voluntario 15: Mujer de 43 años sana

Voluntario 15 tiene un estado de salud bueno, la causa se debe a su cuidado en el consumo de alimentos según manifiestas, además por su trabajo alternado (docencia y agricultor) su motricidad representa una importante terapia. Su parentesco con una persona con artritis reumatoide del presente trabajo supone cierto riesgo de contraer la enfermedad, pero hasta la actualidad no se ha manifestado mediante algún síntoma.

Las manos a primera vista no tienen tumefacciones tanto en la zona de la articulación metacarpofalángica ni tampoco en la articulación interfalángica. En la toma de datos la naturalidad de sus movimientos no presenta limitaciones ante una generación indeseable de una acción. La particularidad en este caso trata el número de puntos obtenidos para la posición y velocidad a analizar durante la amplitud de movimiento, con un total de 31 datos capturados. La posición durante su amplitud es casi invariable mantiene un movimiento constante en sus articulaciones, una de las características en los pacientes sanos y los enfermos con medicación dentro de sus actividades diarias. En la evaluación de la velocidad existe un pico a estudiar, donde según los datos de posición desde el punto 11 hasta el punto 13 correspondiente a la finalización de la flexo-extensión y el comienzo del análisis de cada una de las falanges por separado. Es una característica importante por

el movimiento natural de la mano, donde siempre existe un pico alto generado por la acción instintiva de las personas voluntarias al momento de la captura de los datos.

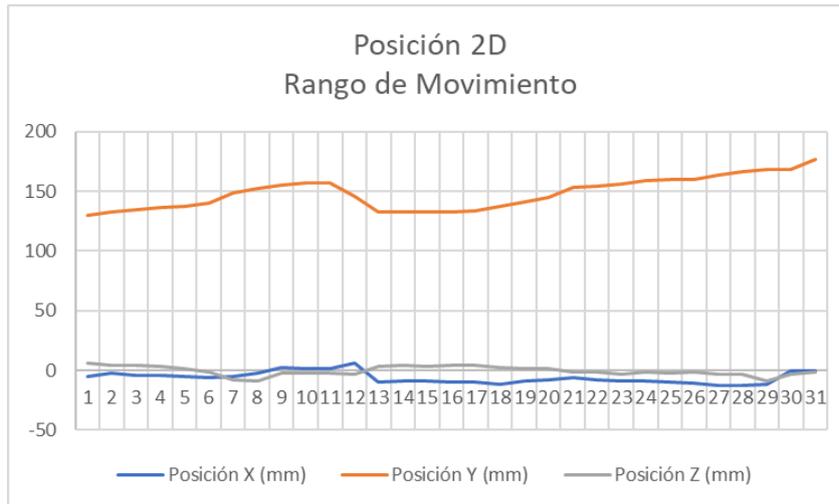


Figura 103. Análisis posición 43 años sana

```

1x11 struct array with fields:
  id
  timestamp
  hands
  version

Numero de manos: 1
Mano: 1
  Posicion: 5.738715 145.509720 -3.643773
  Velocidad: 0.483209 -139.001602 104.600571
  Orientacion: -0.003303 -0.122465 -0.200655 0.971972
  Dedos levantados: 0
  Dedos: 0 0 0 0

1x12 struct array with fields:
  id
  timestamp
  hands
  version

Numero de manos: 1
Mano: 1
  Posicion: -10.255541 132.639175 3.276349
  Velocidad: -7.607625 -9.764859 4.636762
  Orientacion: -0.104488 -0.014481 0.008832 0.994381
  Dedos levantados: 5
  Dedos: 1 1 1 1

1x13 struct array with fields:
  id
  timestamp
  hands
  version

Numero de manos: 1
Mano: 1
  Posicion: -8.967981 132.782990 3.939054
  Velocidad: 6.892520 -0.046970 -0.329421
  Orientacion: -0.102579 -0.014039 0.016628 0.994487
  Dedos levantados: 5
  Dedos: 1 1 1 1

```

Figura 104. Análisis movimiento mujer 43 años sana

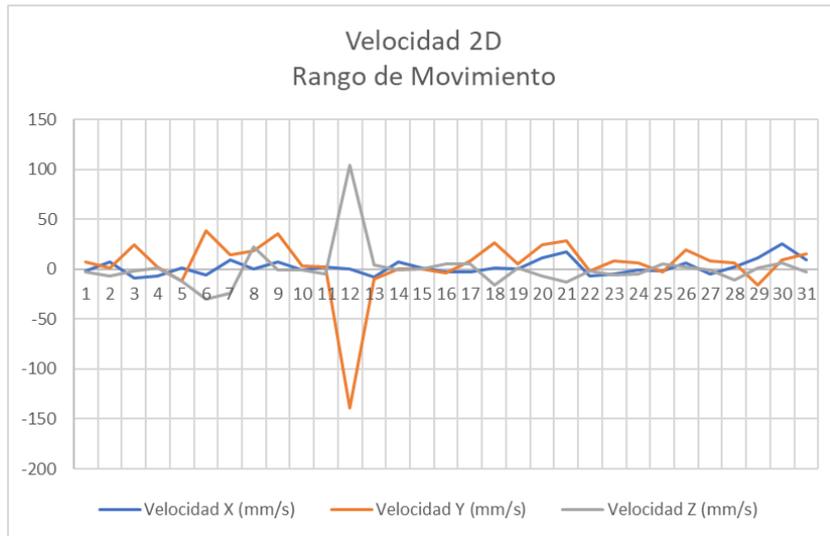
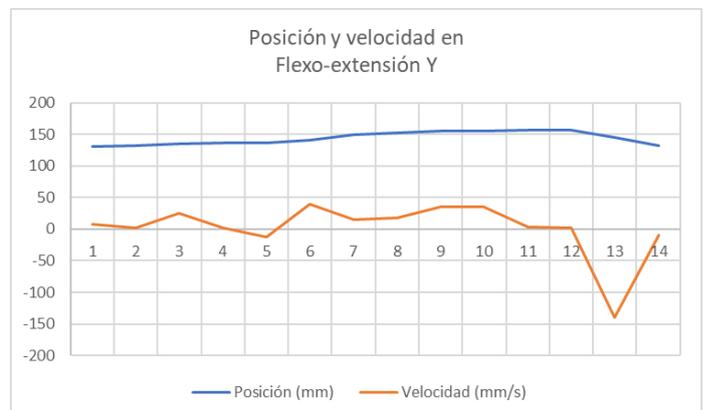
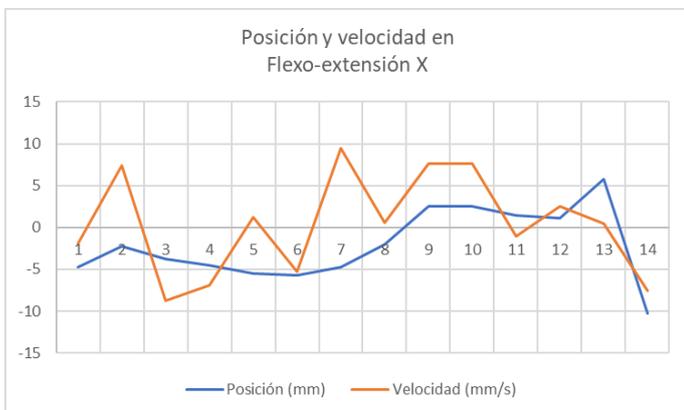


Figura 105. Análisis velocidad 43 años sana

3.1. Análisis flexo-extensión voluntario 15

Las similitudes ante el movimiento de flexo-extensión de las personas sin la enfermedad y ciertas personas con un estadio leve o controlada la artritis reumatoide con medicación presentan siempre cambios en la velocidad con valores altos generando un pico dentro de las gráficas ha sido una de las características importantes dentro del estudio en el análisis de este movimiento principalmente. Este caso no es una excepción sino más bien una tendencia común al generar esta acción. En el plano frontal donde se produce los movimientos de flexión y extensión la velocidad tiene fluctuaciones en rangos muy pequeños, no observamos grandes valores que sean motivo de un estudio extensivo. Los demás ejes espaciales no presentan mayores complicaciones y mantienen una constante como se ha observado en cada uno de los pacientes sanos.



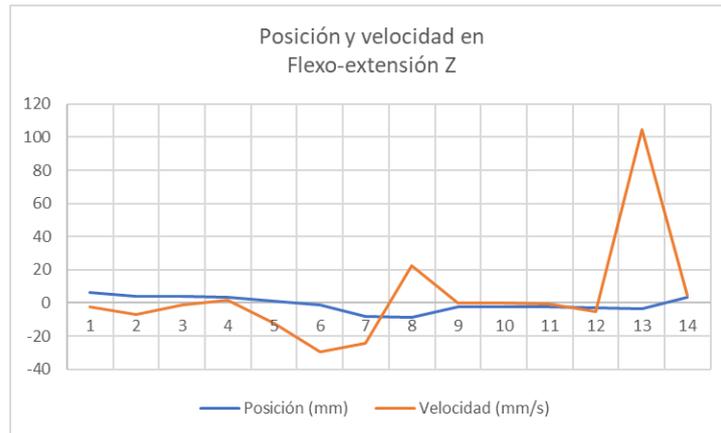


Figura 106. Análisis flexo-extensión 43 años sana

4. Voluntario 16: Mujer de 51 años sana

En el presente caso la voluntaria no se observan tumefacciones en las principales articulaciones de la mano, su movimiento de las falanges en la primera impresión es completamente bueno, la acción producida en sus dedos durante el protocolo de evaluación durante la posición es constante y no existen variaciones implicadas en una acción indeseable. Lo curioso de este caso es la toma de datos, se le realizaron dos capturas de movimiento en el protocolo debido al patrón que seguía la velocidad con una proposición de movimiento suave en primera instancia y una rapidez mayor en la segunda captura de datos. La tendencia a pesar de las dos tomas de datos es similar, presenta casi los mismos valores en ambas, donde la velocidad de la persona al realizar los movimientos en las articulaciones interfalángicas y metacarpofalángicas son veloces e instantáneos donde cada uno de los dedos de la persona se mueven en un ritmo diferente a las demás personas hasta ahora con captura de datos semejantes. Es importante resaltar la toma de datos en tiempo real de Leap Motion® ya que esta captura se realizó 7 días después de la primera captura de datos. Entre las principales acotaciones de ambas graficas resalta la misma toma de datos (aproximadamente 24 tomas) después las mismas evaluaciones en las articulaciones interfalángicas entre los puntos 18 y 20 correspondientes a la flexión de la quinta, cuarta y tercera falange en ambos casos.

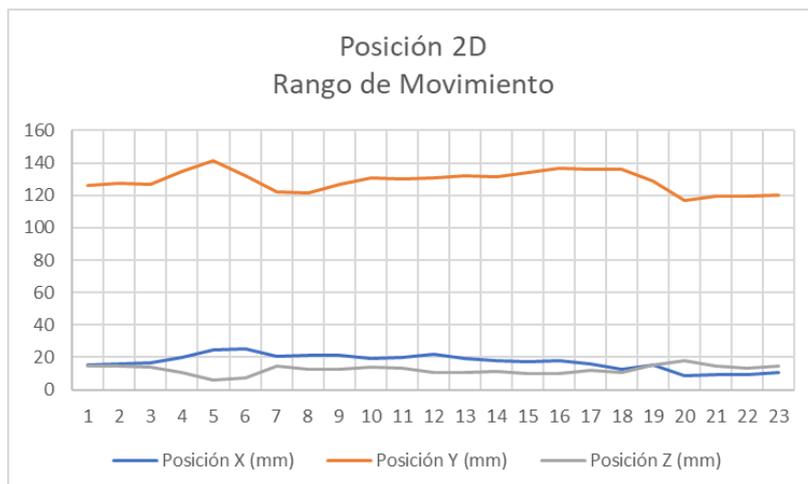


Figura 107. Análisis posición 51 años sana primera toma de datos

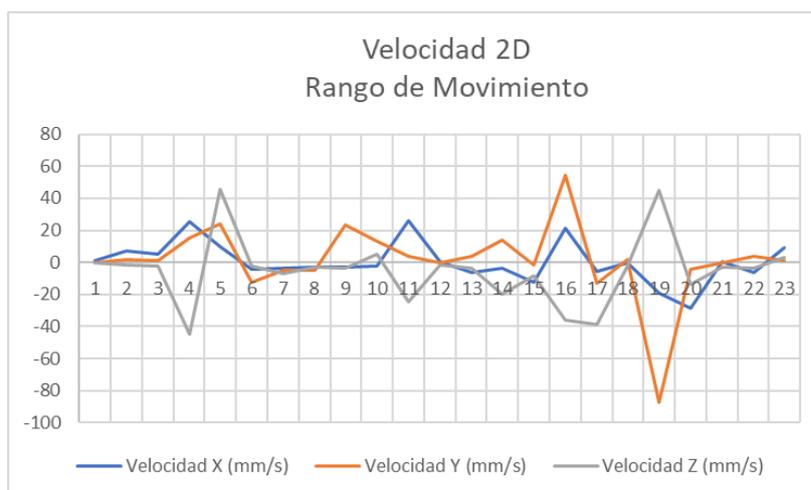


Figura 108. Análisis velocidad 47 años sana segunda toma de datos

1x18 struct array with fields:

```
id
timestamp
hands
version
```

Numero de manos: 1

Mano: 1

```
Posicion: 22.258991 130.836761 10.704870
Velocidad: 0.179554 -0.394905 -1.424629
Orientacion: -0.014744 -0.113123 -0.019495 0.993280
Dedos levantados: 4
Dedos: 1 1 1 1 0
```

1x19 struct array with fields:

```
id
timestamp
hands
version
```

Numero de manos: 1

Mano: 1

```
Posicion: 19.337605 132.048187 10.946061
Velocidad: -6.618459 4.115604 -3.795190
Orientacion: -0.011168 -0.098710 0.000318 0.995054
Dedos levantados: 4
Dedos: 1 1 1 1 0
```

1x20 struct array with fields:

id
timestamp
hands
version

Numero de manos: 1

Mano: 1

Posicion: 18.079510 131.420013 11.504233
Velocidad: -3.455590 14.166911 -19.765463
Orientacion: -0.016229 -0.079817 0.023753 0.996394
Dedos levantados: 2
Dedos: 1 1 0 0

1x18 struct array with fields:

id
timestamp
hands
version

Numero de manos: 1

Mano: 1

Posicion: 9.639646 141.129852 -31.226768
Velocidad: 19.976341 112.661484 -25.709820
Orientacion: 0.010162 -0.010517 -0.243251 0.969853
Dedos levantados: 0
Dedos: 1 1 1 1 0

1x19 struct array with fields:

id
timestamp
hands
version

Numero de manos: 1

Mano: 1

Posicion: 13.629045 133.657898 -22.359730
Velocidad: 15.218587 -136.309204 36.192501
Orientacion: -0.099789 -0.041974 -0.088832 0.990146
Dedos levantados: 5
Dedos: 1 1 1 0 0

1x20 struct array with fields:

id
timestamp
hands
version

Numero de manos: 1

Mano: 1

Posicion: 15.043958 115.109589 -17.403154
Velocidad: 12.880733 -16.438000 -10.724696
Orientacion: -0.157965 -0.039195 -0.092138 0.982355
Dedos levantados: 5
Dedos: 1 1 0 0 0

Figura 109. Análisis movimientos mujer 51 años sana

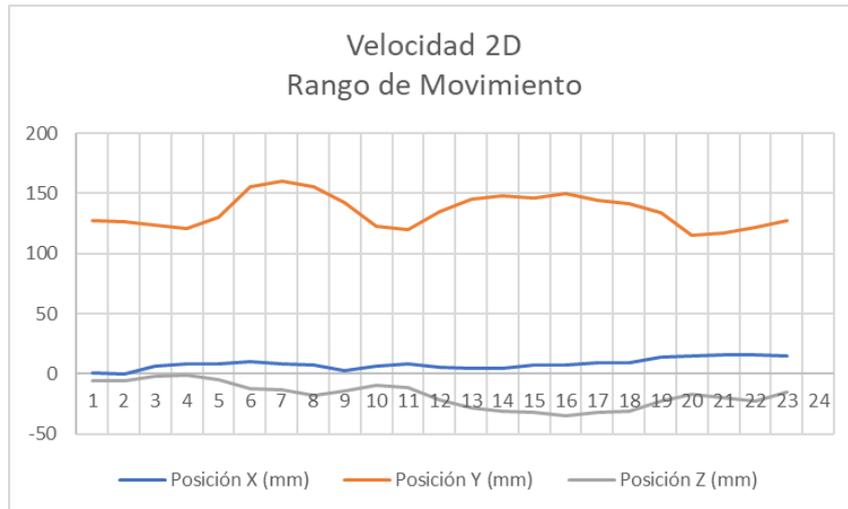


Figura 110. Análisis posición 51 años sana segunda toma de datos

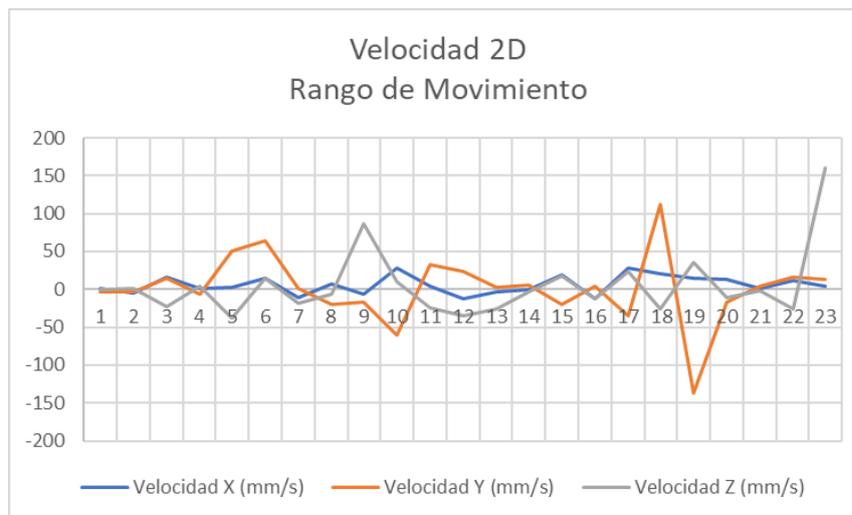


Figura 111. Análisis velocidad 51 años sana segunda toma de datos

4.1. Análisis flexo-extensión voluntario 16

La persona al evaluar el movimiento de flexo-extensión a diferencia de lo observado en el punto 3.1.3.6. este rango lo realizar con un movimiento uniforme y los tres ejes coordenados así lo demuestran mediante la gráfica donde el análisis abarca 7 toma de datos con la posición casi invariable y la velocidad es muy uniforme al movimiento con una extensión-flexión de las falanges sin limitaciones de movimiento para la primera captura de datos.

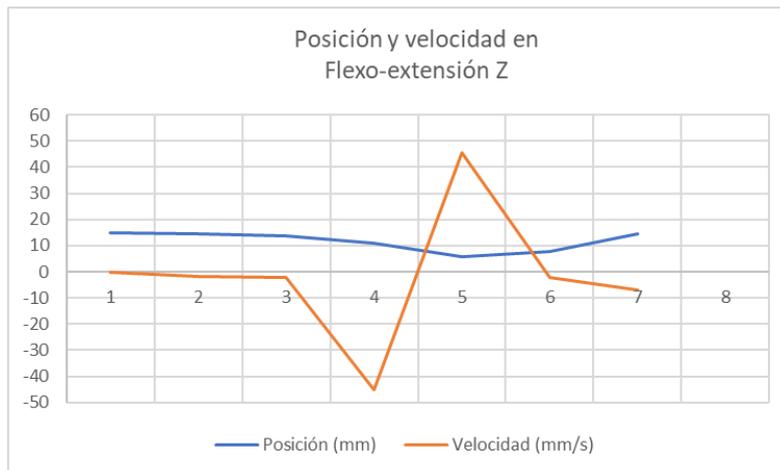
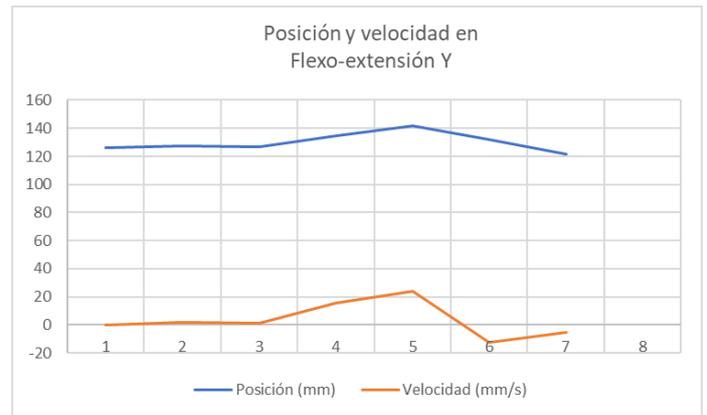
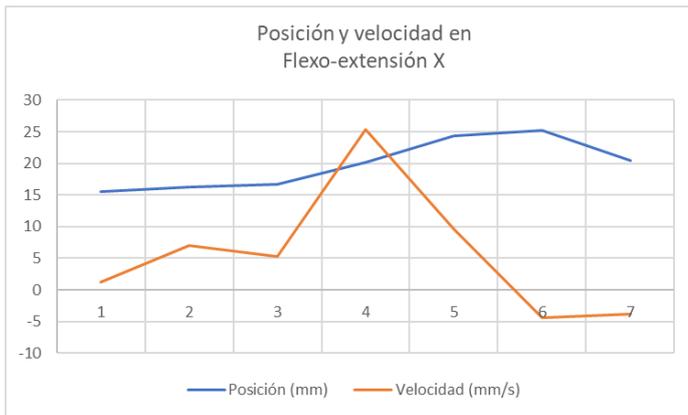
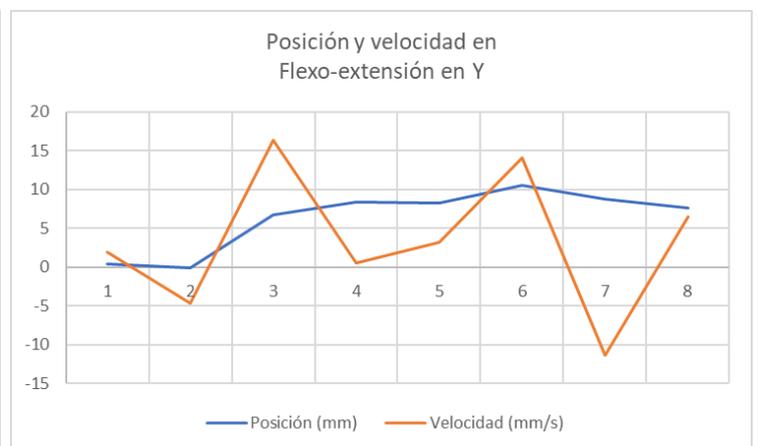
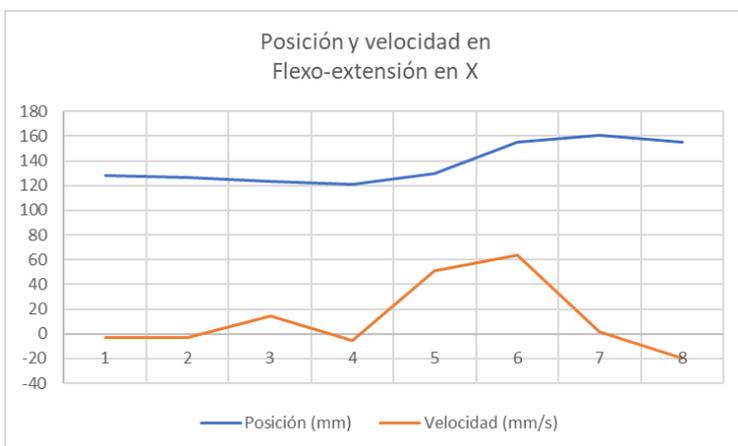


Figura 112. Análisis flexo-extensión 51 años sana primera toma de datos

En la segunda captura de datos la velocidad fluctúa con mayor intensidad, pero en rango similares, es decir mantiene un pico del mismo valor, en este caso es obvio el cambio brusco en la velocidad debido al movimiento de la persona para analizar este movimiento donde se concluye el efecto de la velocidad en la generación de flexo-extensión



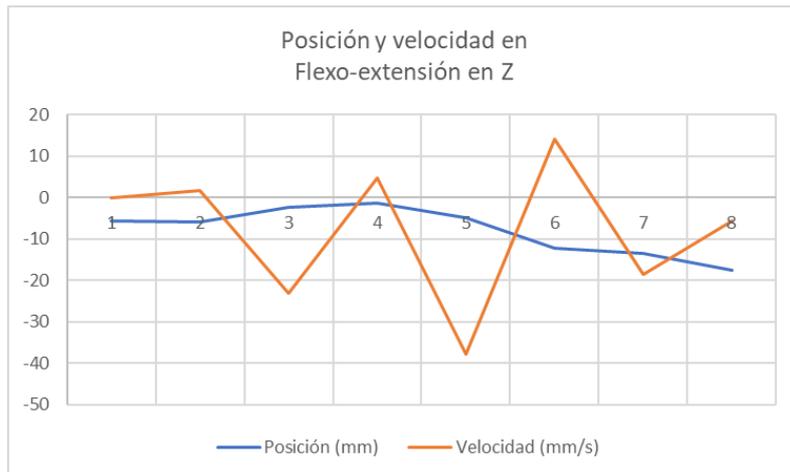


Figura 113. Análisis flexo-extensión 51 años sana segunda toma de datos

5. Voluntario 17: Hombre de 48 años sano

En el caso del voluntario de sexo masculino no tiene tumefacciones en las articulaciones analizadas dentro del protocolo. Es importante señalar el factor genético, la hermana de la persona padece de la enfermedad degenerativa, pero en este caso el sujeto no ha desarrollado durante su vida la enfermedad. Muestra de ello en la posición su movimiento a lo largo de la captura de datos con Leap Motion® presenta un movimiento muy uniforme casi invariable durante las 21 posiciones, la importancia en este registro de datos nos da una pauta del comportamiento dentro de la articulación metacarpofalángica como interfalángica proximal y distal. La velocidad presenta dos picos importantes de análisis, el primero en la posición 2-4 donde la persona realiza los movimientos de extensión y flexión de la mano, corresponde a una velocidad alta realizando una acción con buena rapidez capta por el registrado de los datos en MATLAB®. El segundo pico muestra el movimiento rápido y natural al flexionar la primera falange para posteriormente a extender completamente todas las falanges para completar el protocolo establecido evaluando la variable velocidad en este caso

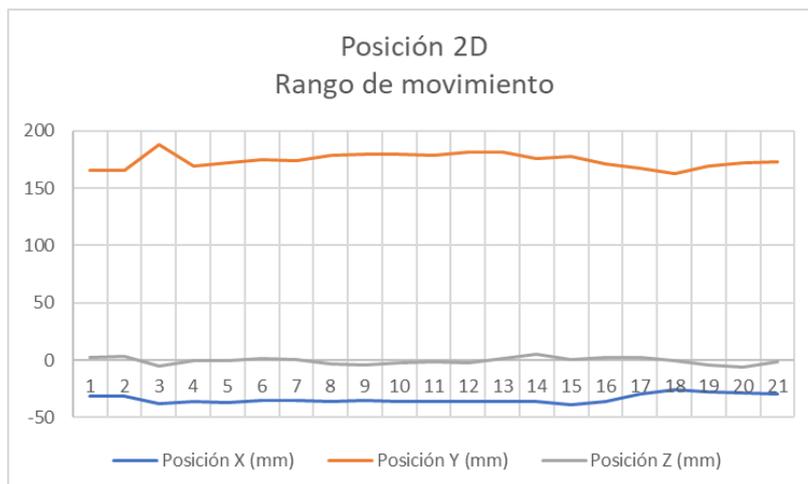


Figura 114. Análisis posición 48 años sano

1x2 struct array with fields:

```
id
timestamp
hands
version
```

Numero de manos: 1

Mano: 1

```
Posicion: -38.195480 187.639297 -5.040039
Velocidad: -15.204331 76.246742 6.339151
Orientacion: 0.145639 0.052403 -0.027225 0.987574
Dedos levantados: 0
Dedos: 0 0 0 0
```

1x3 struct array with fields:

```
id
timestamp
hands
version
```

Numero de manos: 1

Mano: 1

```
Posicion: -35.933247 169.369049 -0.372946
Velocidad: -33.102150 71.349007 2.904857
Orientacion: 0.007377 0.030003 0.009198 0.999480
Dedos levantados: 5
Dedos: 1 1 1 1 1
```

1x4 struct array with fields:

```
id
timestamp
hands
version
```

Numero de manos: 1

Mano: 1

```
Posicion: -37.192924 172.163483 -0.237879
Velocidad: 5.396015 6.914905 -3.243252
Orientacion: 0.018318 0.029708 0.009479 0.999346
Dedos levantados: 5
Dedos: 1 1 1 1 1
```

Figura 115. Análisis movimiento primer pico hombre 48 años sano

```

1x16 struct array with fields:
    id
    timestamp
    hands
    version

Numero de manos: 1
Mano: 1
    Posicion: -38.550419 178.044464 0.896461
    Velocidad: -36.618900 -13.127875 -21.468216
    Orientacion: 0.084494 0.026728 0.016252 0.995933
    Dedos levantados: 1
    Dedos: 1 0 0 0 0

1x17 struct array with fields:
    id
    timestamp
    hands
    version

Numero de manos: 1
Mano: 1
    Posicion: -36.223789 170.789246 2.017090
    Velocidad: 35.198032 -53.906666 38.376968
    Orientacion: 0.044961 0.026144 -0.027382 0.998271
    Dedos levantados: 0
    Dedos: 0 0 0 0 0

1x18 struct array with fields:
    id
    timestamp
    hands
    version

Numero de manos: 1
Mano: 1
    Posicion: -29.673975 167.459518 2.534773
    Velocidad: 57.989723 -65.221519 5.532648
    Orientacion: 0.013817 0.004480 -0.012825 0.999812
    Dedos levantados: 5
    Dedos: 1 1 1 1 1

```

Figura 116. Análisis movimiento segundo pico hombre 48 años

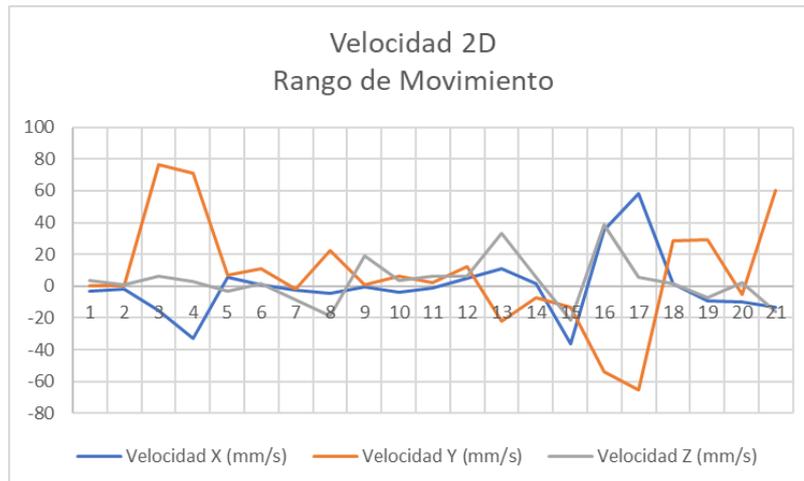


Figura 117. Análisis velocidad 48 años sano

5.1. Análisis flexo-extensión voluntario 17

La flexo-extensión de la persona analizada en los ejes coordenados es un caso donde el voluntario en 4 registro de movimiento a completo el movimiento en la valoración de la posición y velocidad. Una

vez analizado los resultados y al construir la gráfica de los ejes X y Z correspondiente al plano frontal donde se realizan los movimientos de flexión y extensión de las falanges en la mano existe un movimiento un tanto fluctuante propio y característico de este tipo de acciones. La posición es constante y no presenta muchas variaciones, indicando una lucidez de movimiento en este caso

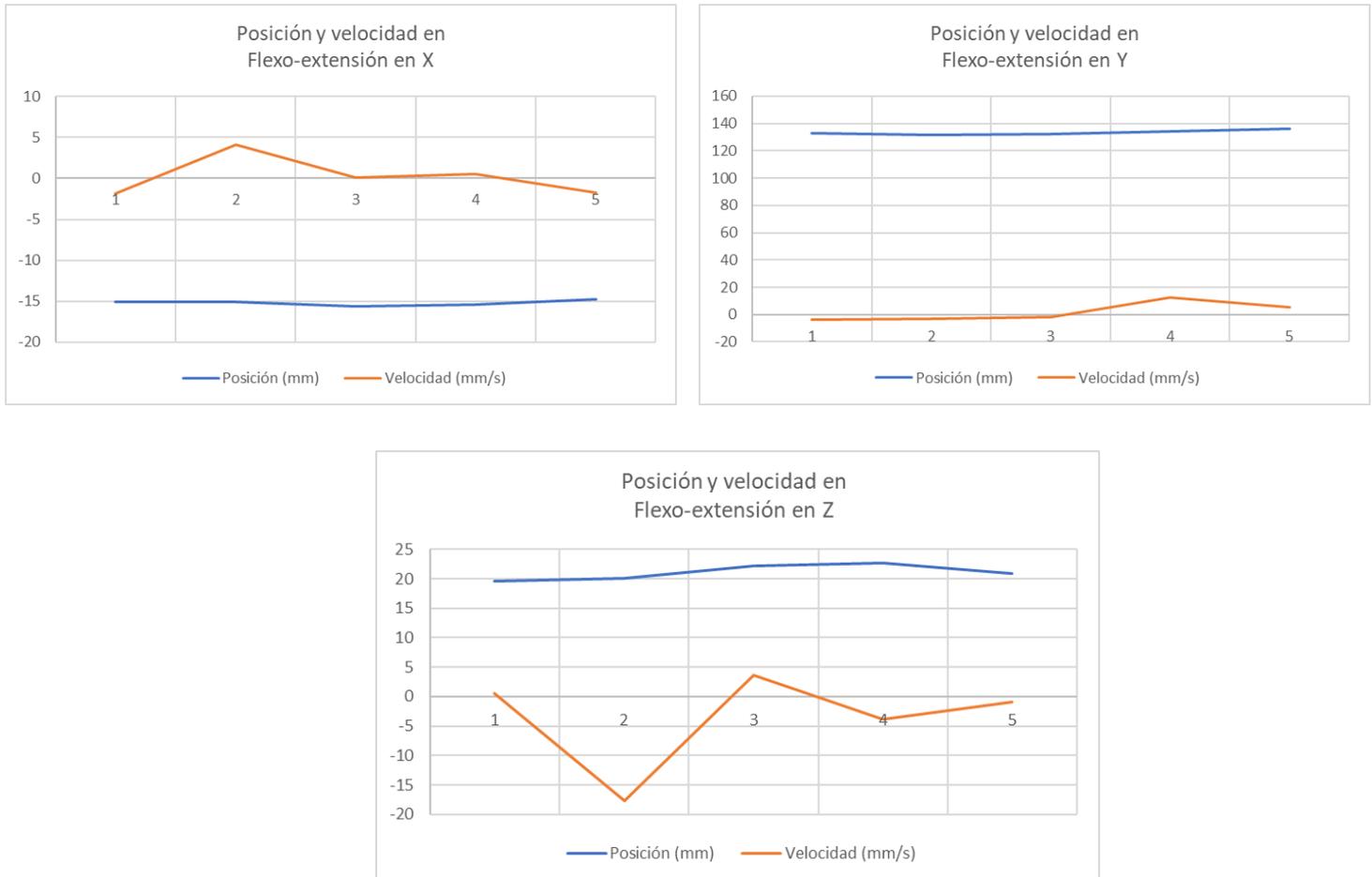


Figura 118. Análisis flexo-extensión 48 años sano

6. Voluntario 18: Mujer de 49 años sana

La voluntaria tiene un caso representativo y extraño, sus articulaciones metacarpofalángicas no son visibles (nudillos en las manos), donde presenta problemas al abrir cosas o realizar trabajos implicando fuerzas excesivas, a su vez es una consideración para tomar en cuenta porque no presenta la enfermedad, pero es un caso donde las conclusiones en la evaluación de movimiento y fuerza no serán en ningún caso las mismas. El problema según indica la voluntaria proviene de su nacimiento.

En los registros de datos obtiene 21 puntos, común dentro de las personas sanas, posteriormente, en la valoración de la posición dentro de sus ejes coordenados no son motivos de análisis, es decir, es casi invariable y el movimiento es casi uniforme. En la variable de la velocidad existen varias inconformidades dentro de la investigación hasta ahora, los movimientos al evaluar la flexo-extensión son muy fluctuantes y así lo representan los puntos 2-7. Al realizar la extensión de las

falanges y su posterior movimiento para el análisis de las articulaciones interfalángicas por separado la persona de sexo femenino manifiesta dolor al flexionar la quinta y cuarta falange en un gesto pasivo, pero con una rapidez variante. Por último, la valoración según el análisis de registro en MATLAB® al cerrar completamente el puño existe otra complicación involucrando a la articulación metacarpofalángica motivo del pico alto en los puntos 18 -20.

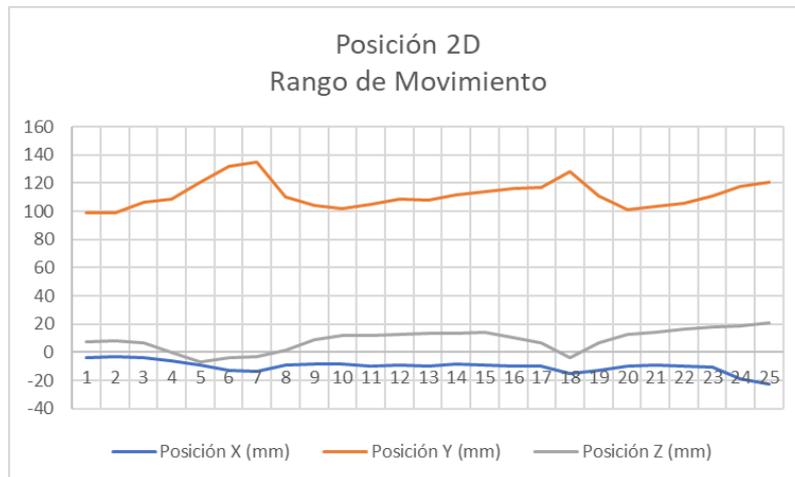


Figura 119. Análisis posición 49 años sana

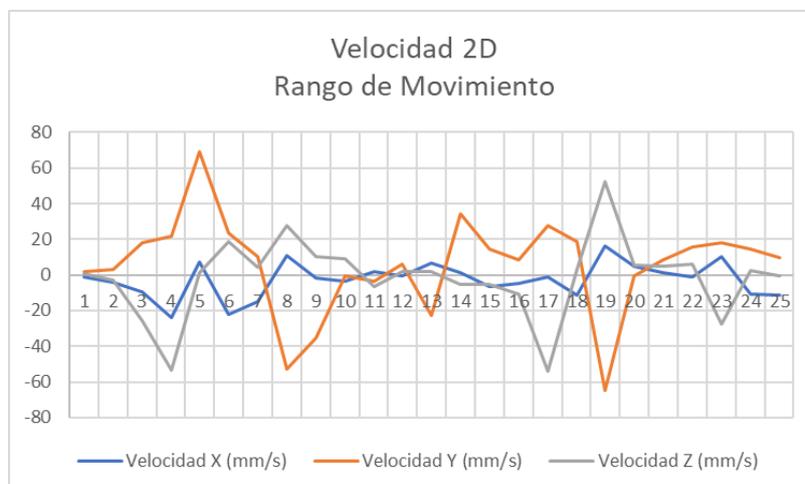


Figura 120. Análisis velocidad 49 años sana

```

1x18 struct array with fields:

    id
    timestamp
    hands
    version

Numero de manos: 1
Mano: 1
    Posicion: -14.942093 128.427872 -3.614472
    Velocidad: -11.550323 18.860628 2.794432
    Orientacion: 0.037956 0.089806 -0.138536 0.985547
    Dedos levantados: 0
    Dedos: 0 0 0 0

1x19 struct array with fields:

    id
    timestamp
    hands
    version

Numero de manos: 1
Mano: 1
    Posicion: -12.926431 111.083199 6.295755
    Velocidad: 16.286324 -64.674286 52.442142
    Orientacion: -0.091335 0.068538 -0.057893 0.991771
    Dedos levantados: 5
    Dedos: 1 1 1 1

1x20 struct array with fields:

    id
    timestamp
    hands
    version

Numero de manos: 1
Mano: 1
    Posicion: -9.619529 101.147942 12.263253
    Velocidad: 4.975052 -0.792200 5.331768
    Orientacion: -0.086390 0.070600 -0.080324 0.990505
    Dedos levantados: 5
    Dedos: 1 1 1 1

```

Figura 121. Análisis movimiento mujer 49 años sana

6.1. Análisis flexo-extensión voluntario 18

Los movimientos de velocidad en el rango de flexo-extensión por razones en complicaciones en sus articulaciones metacarpofalángicas debido a su anomalía desde el nacimiento. A comparación de las personas sanas aquí los valores de velocidad son elevados, los picos altos en la velocidad corresponden el doble de los sujetos sanos hasta el momento, implicando una velocidad mucho más lenta en la generación de movimientos. El análisis de las fluctuaciones en los ejes X y Z muestran en cada registro los diversos movimientos en flexión y extensión de las falanges en un movimiento de valoración con acotaciones interesantes en este caso

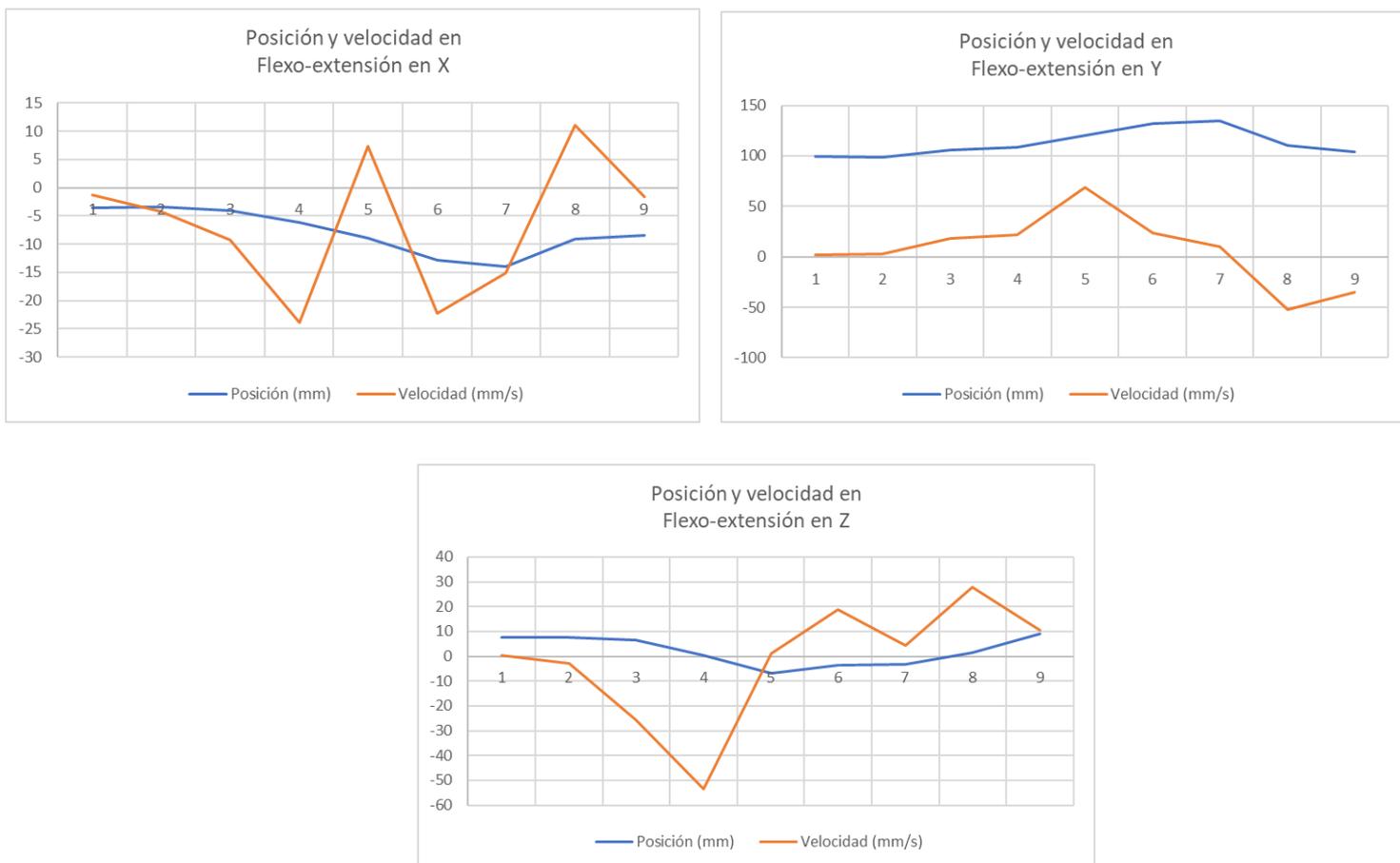


Figura 122. Análisis flexo-extensión 49 años sana

7. Voluntario 19: Hombre de 41 años sano

El voluntario no padece de la enfermedad, su estado de salud en la actualidad es completamente bueno, según indica no es fumador, bebe alcohol esporádicamente y no está expuesto a otro factor de riesgo asociado a la enfermedad.

En la posición no presenta ningún problema como todos los voluntarios sanos, el movimiento es uniforme sin mayores variaciones a lo largo de la captura de datos con el dispositivo. La velocidad presenta picos con características similares a otros voluntarios donde su análisis y evaluación corresponde a la extensión y flexión de las falanges para continuar con la valoración de cada una de las articulaciones interfalángicas de los dedos. Su velocidad cambia respecto al movimiento natural e instintivo para regresar la mano a su posición inicial (extensión de la mano la tomamos como patrón inicial).

7.1. Análisis flexo-extensión voluntario 19

La flexo-extensión para la persona de sexo masculino no representa mayores inconvenientes una vez realizado los movimientos establecidos en el protocolo del punto 2.4. El registro de datos capturado en la conexión entre Leap Motion® y MATLAB® indica 6 puntos tanto al extender la mano como volver a la posición de reposo flexionando las articulaciones metacarpofalángicas para su valoración.

Las variables como posición y velocidad mantienen una uniformidad durante esta acción en el eje Y. En los ejes restantes dentro del plano espacial los movimientos realizados en el plano frontal correspondiente a la flexión y extensión presentan pequeñas variaciones debido al cambio de velocidad al evaluar la amplitud de movimiento como corresponde.

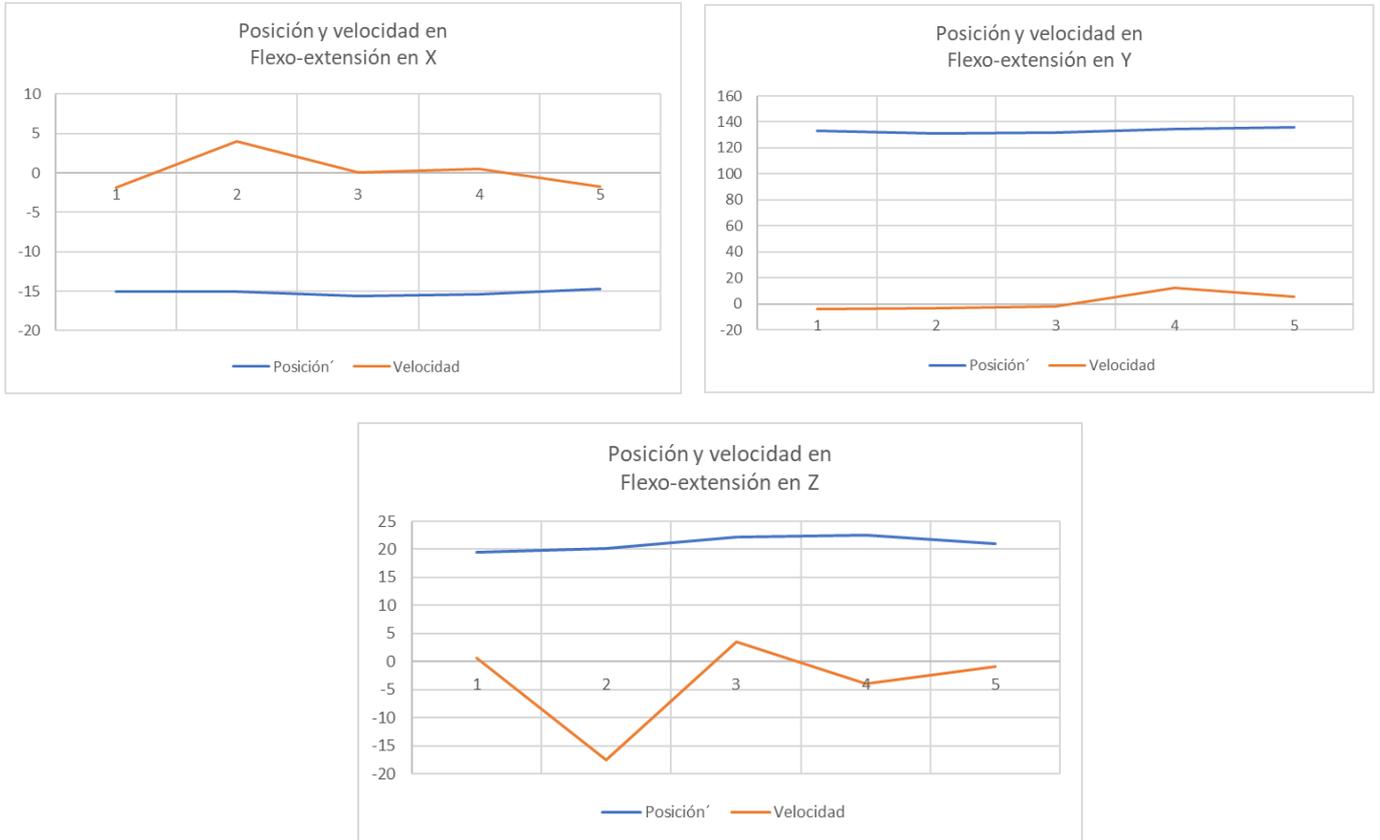


Figura 123. Análisis flexo-extensión 41 años sana

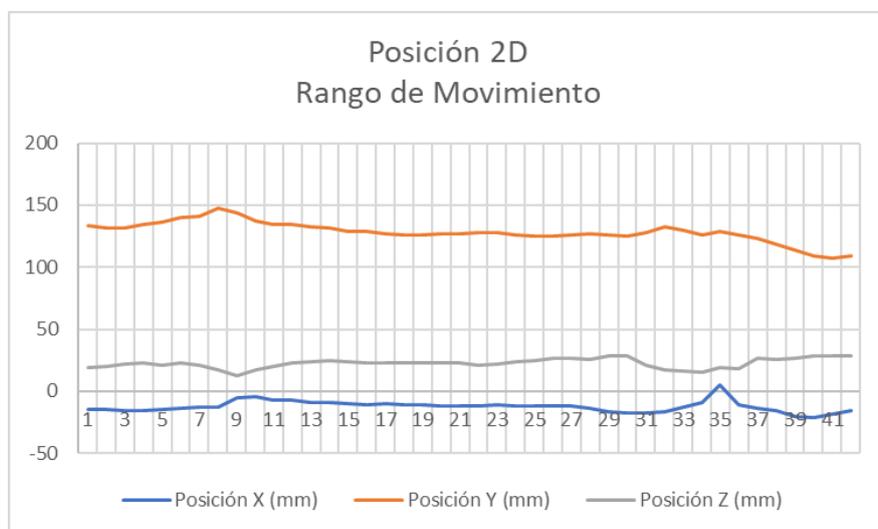


Figura 124. Análisis posición 41 años sano

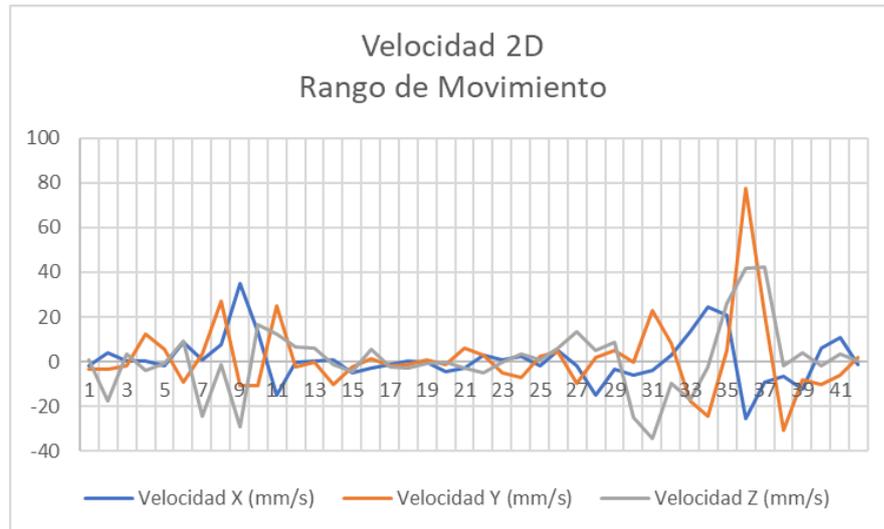


Figura 125. Análisis velocidad 41 años sano

8. Voluntario 20: Hombre de 45 años sana

El voluntario realiza las acciones establecidas en el protocolo con su mano izquierda debido a un dolor intenso en su mano derecha producto de una lesión laboral (utilización excesiva del ratón y su consecuencia en la posición de la mano) debido a la inflamación del nervio radial. Los datos registrados mediante el dispositivo con la mano izquierda se toman sin ningún problema. La variable respecto a la posición sus movimientos son uniforme al igual que los casos anteriores de personas sanas, no existe un pico pronunciado para un análisis específico, su registro de datos son 27 puntos cumpliendo con el protocolo sin limitaciones de movimiento. La velocidad durante la toma de datos y gestos analizados en las articulaciones metacarpofalángicas e interfalángicas, la fluctuación de la velocidad es invariable en gran parte del protocolo, excepto en los últimos tres puntos (24-26) correspondientes a la flexión de la quinta, cuarta, tercera y segunda falange; posterior a este movimiento se produce nuevamente una extensión en los dedos de la mano en un movimiento excesivamente rápido.

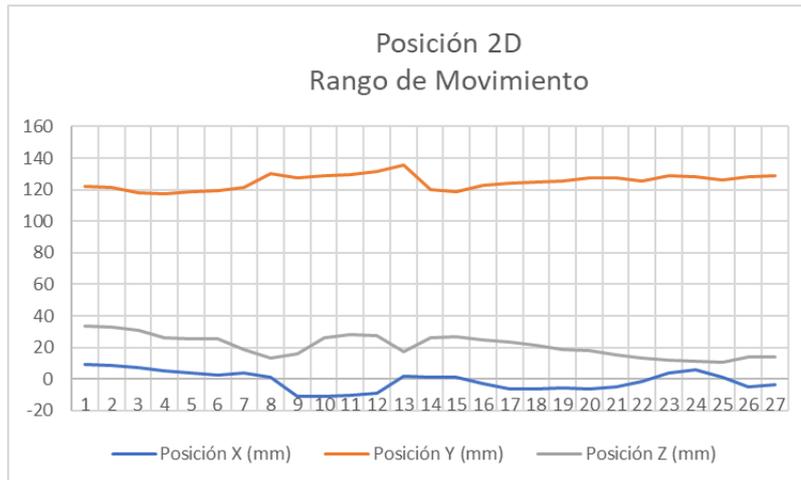


Figura 126. Análisis posición 45 años sano

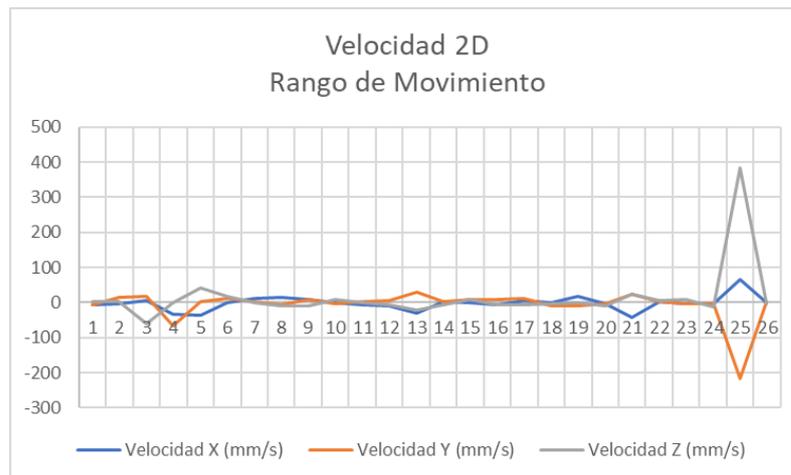


Figura 127. Análisis velocidad 45 años sano

```

1x24 struct array with fields:

    id
    timestamp
    hands
    version

Numero de manos: 1
Mano: 1
    Posicion: -4.408260 131.473663 14.786177
    Velocidad: -4.084753 -3.089082 -12.945214
    Orientacion: 0.031430 0.111756 -0.207876 0.971242
    Dedos levantados: 0
    Dedos: 1 1 0 0 0

1x25 struct array with fields:

    id
    timestamp
    hands
    version

Numero de manos: 1
Mano: 1
    Posicion: 0.114160 125.269257 20.238293
    Velocidad: 65.766853 -217.366608 384.748505
    Orientacion: -0.018593 0.030329 -0.056550 0.997766
    Dedos levantados: 2
    Dedos: 1 0 0 0 0

1x26 struct array with fields:

    id
    timestamp
    hands
    version

Numero de manos: 1
Mano: 1
    Posicion: 0.046708 121.126259 26.538021
    Velocidad: -0.279021 3.875733 -4.468898
    Orientacion: -0.091432 -0.011876 -0.110300 0.989613
    Dedos levantados: 5
    Dedos: 1 1 1 1 1

```

Figura 128. Análisis movimiento primer pico hombre 45 años

8.1. Análisis flexo-extensión voluntario 20

La posición y la velocidad en flexo-extensión no presenta ningún problema, sus movimientos son consistentes, logrando la evaluación esperada respecto a este movimiento. En los tres ejes coordenados durante los 5 movimientos correspondiente a la extensión-flexión y posterior extensión de las falanges produce una acción sin limitaciones

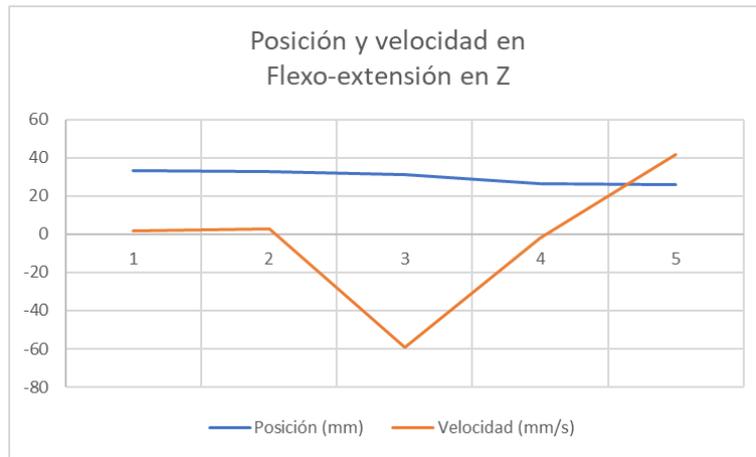
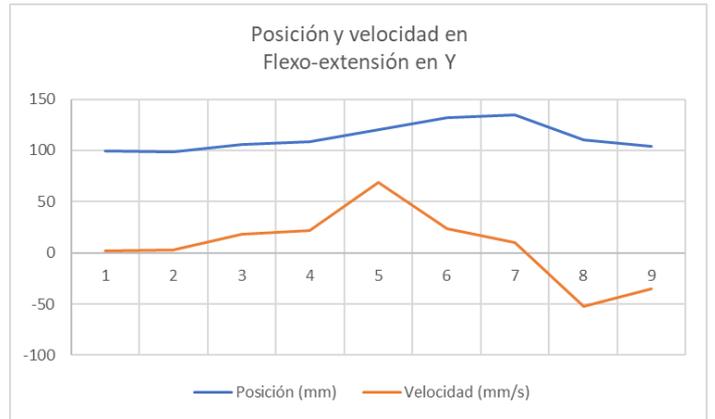
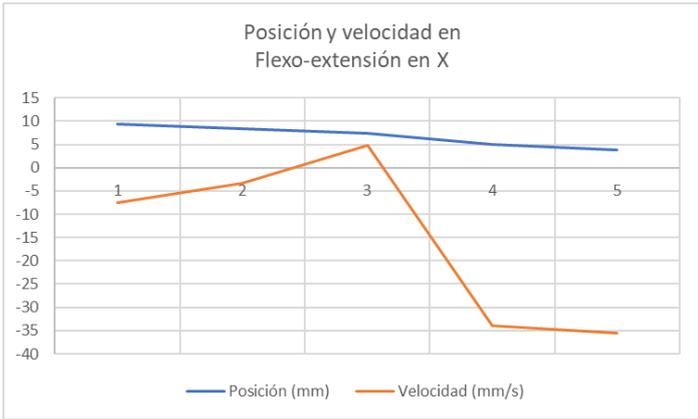


Figura 129. Análisis flexo-extensión 45 años sana

ANALISIS EJES COORDENADOS POSICION Y VELOCIDAD PERSONSAS SANAS

- Voluntario 1

El comportamiento de la velocidad y posición en los ejes coordenados nos dan información sobre el estado del paciente, es decir, hay movimientos complicados para los voluntarios como abrir y cerrar el puño. En el eje x, por ejemplo, al realizar la extensión completa de los dedos el sujeto de prueba tuvo limitaciones e intento mantener extendido la falange hasta lograr el movimiento requerido y los picos en la imagen los demuestran. El movimiento en los demás ejes no presenta picos tan pronunciado salvo en el mismo punto del registro 23 comentado en el apartado de la velocidad.

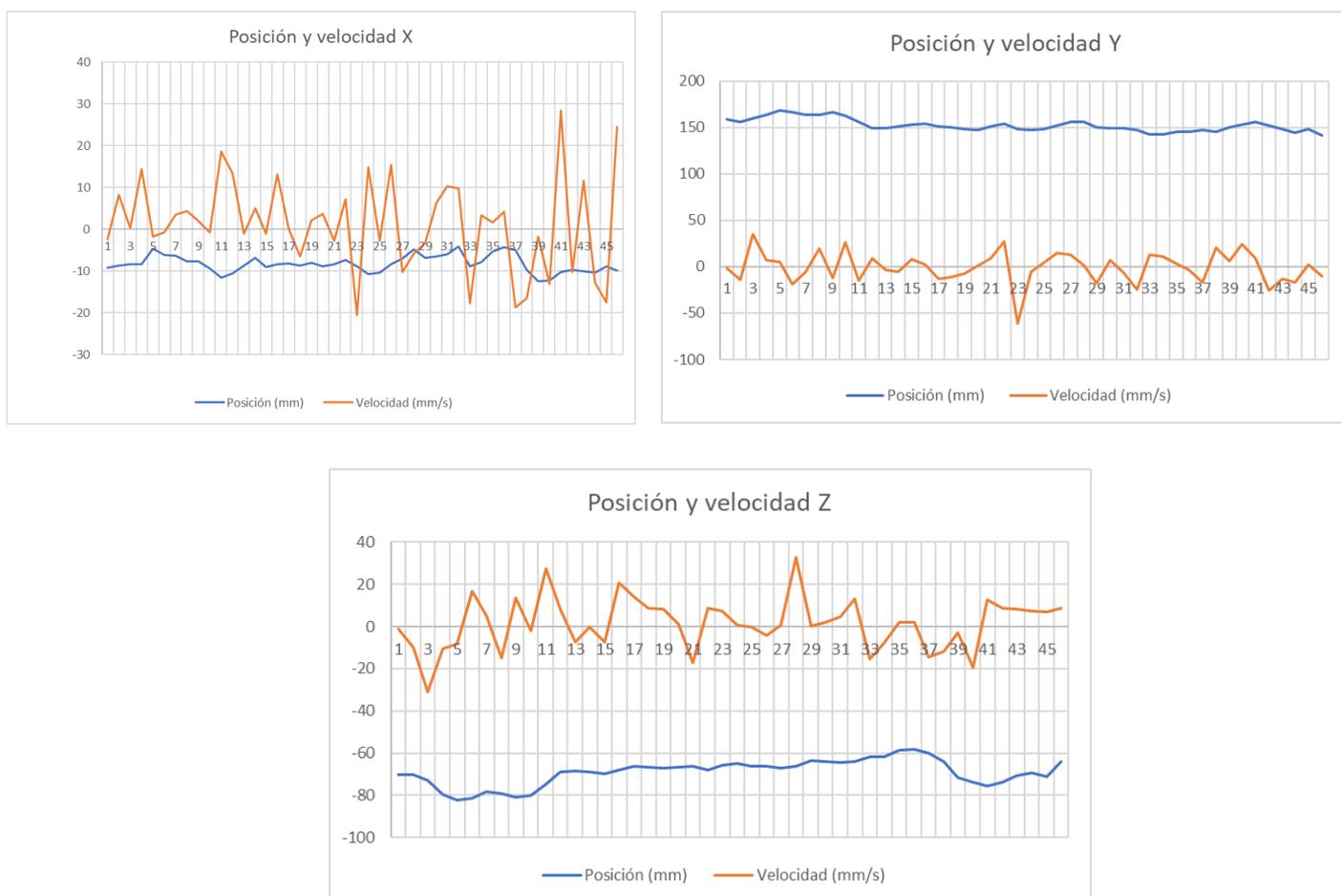


Figura 130. Posición y velocidad en sus tres ejes coordenados 53 años enfermo

- Voluntario 2

Al comparar la velocidad y la posición en cada uno de los puntos obtenidos a lo largo del protocolo se observan situaciones similares a lo mencionado en el paciente con movimientos demasiado limitados debido al avance progresivo de la enfermedad. La posición al sostener su mano izquierda se complica y la toma de datos varia, pero se mantiene las complicaciones por las inflamaciones en las articulaciones de la mano.

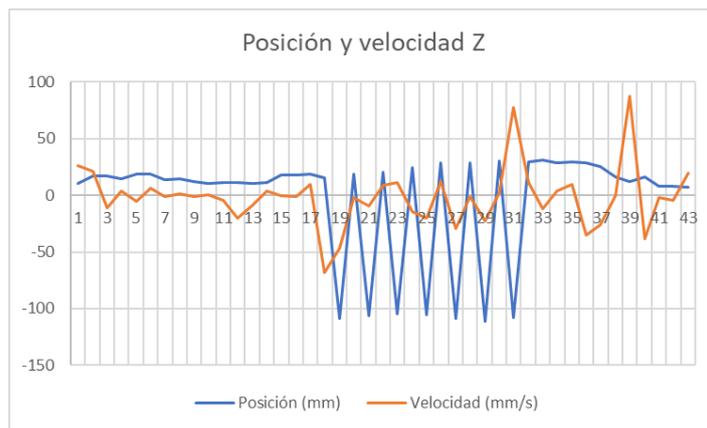
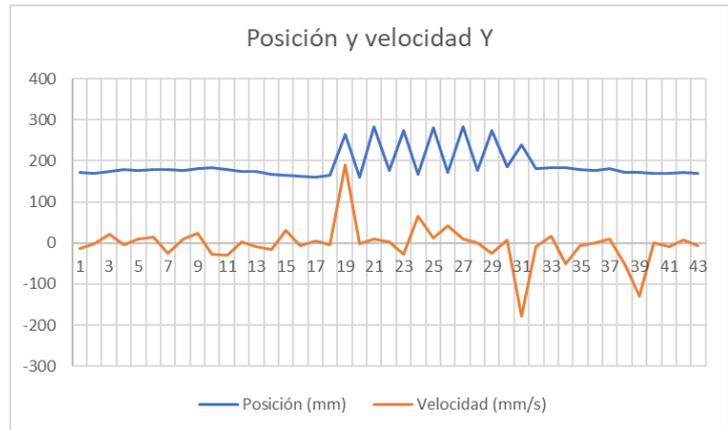
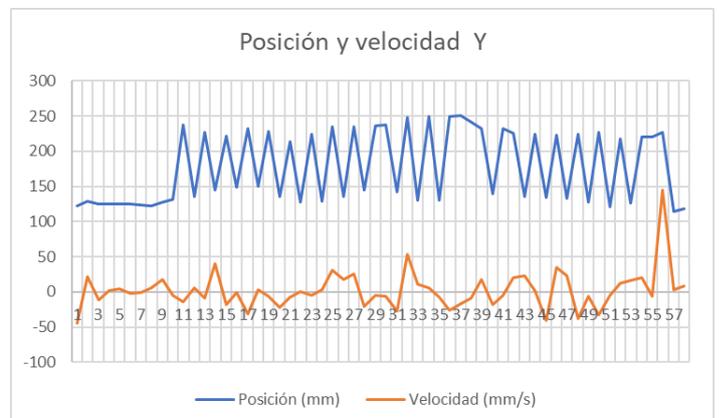
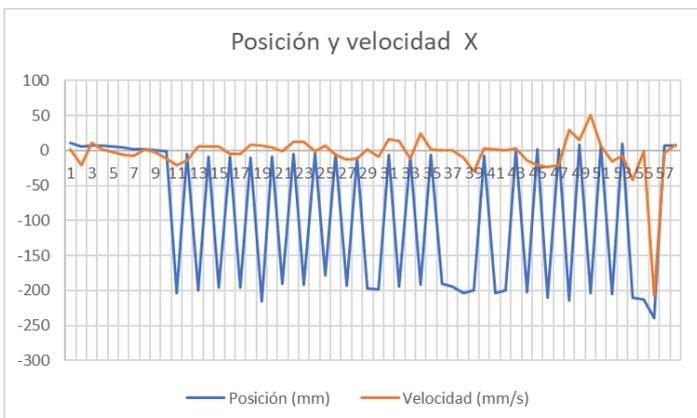


Figura 131. Posición y velocidad en sus tres ejes coordenados 54 años enfermo

- **Voluntario 3**

Al realizar el movimiento en extensión para finalizar con la valoración del movimiento de la persona con la enfermedad degenerativa existe un cambio pronunciado de velocidad instintivo, destacando que los demás participantes también tienen ese pico en sus capturas de datos finales en tiempo real.



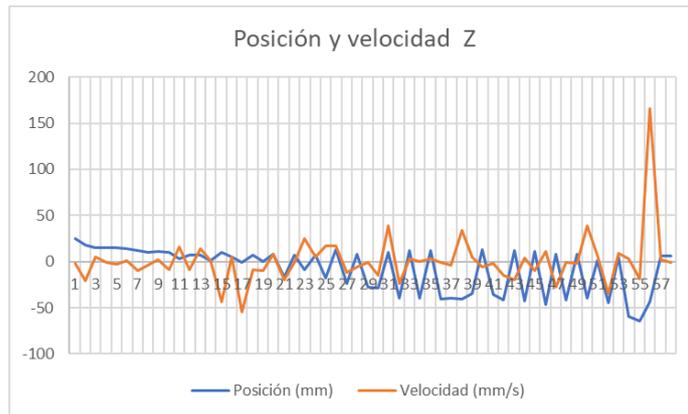


Figura 132. Posición y velocidad en sus tres ejes coordenados 67 años enferma

- Voluntario 4



Figura 133. Posición y velocidad tres ejes coordenados 94 años enferma

- Voluntario 5

Tanto la posición como la velocidad en las coordenadas X y Z tienen cambios en la velocidad consecuentes de la colocación de las falanges por la tumefacción en la mano al tomar la captura de gestos en tiempo real. La posición en Y al tratarse de un vertical obtiene datos de la altura de la

mano, por esta razón los movimientos en este caso son constante en la mayoría de la amplitud del movimiento.

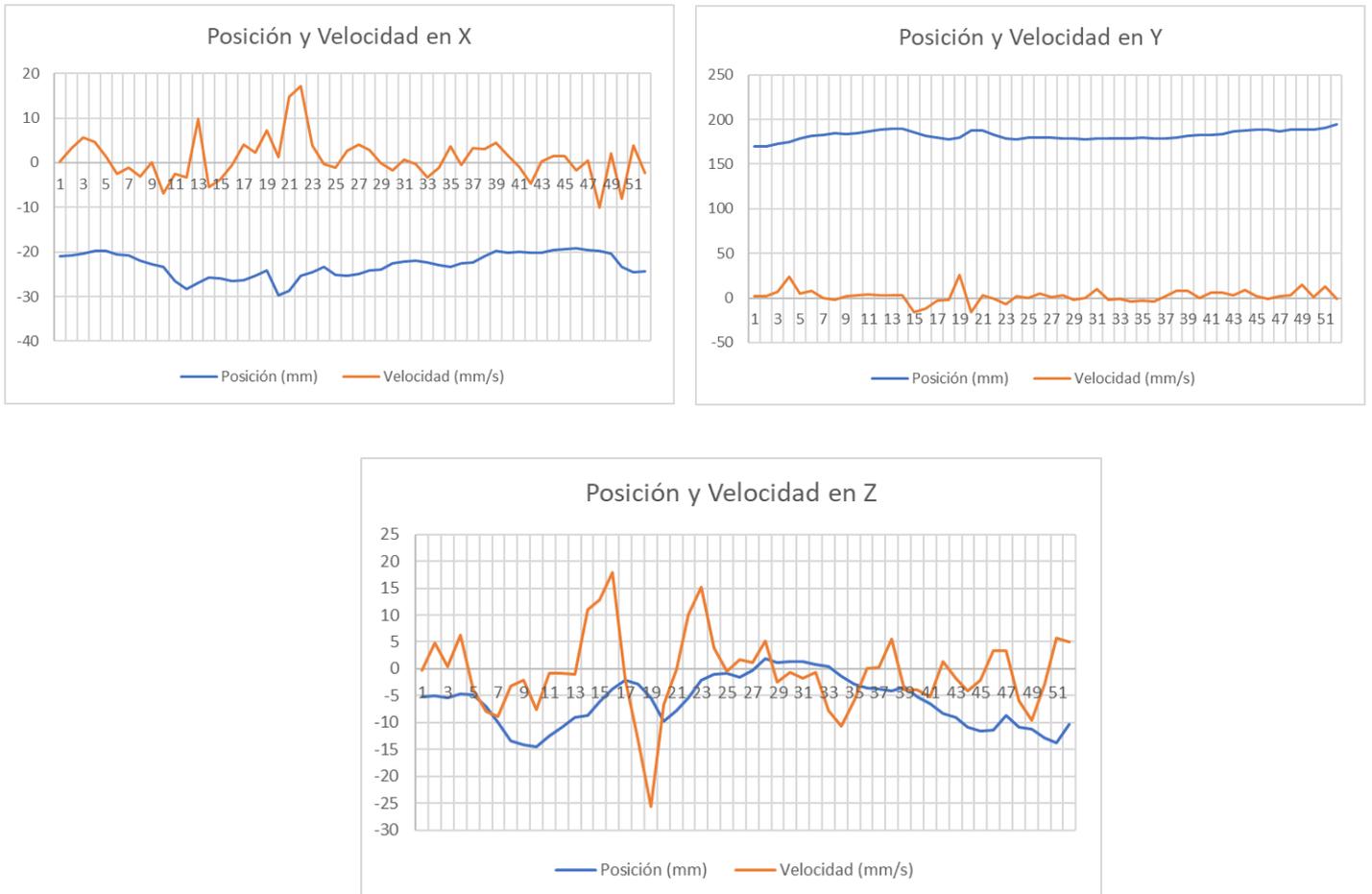


Figura 134. Posición y velocidad ejes coordenados 50 enferma

- **Voluntario 6**

Dentro de los ejes coordenados presenta similitudes con el caso de la variable velocidad, en el mismo punto con respecto a la variación de la velocidad por movimientos bruscos de las falanges existe también una variación de la variable en sus coordenadas espaciales Y y Z la primera indica un movimiento rápido en el eje vertical mientras que el segundo eje corresponde a la flexión de los dedos de la mano.

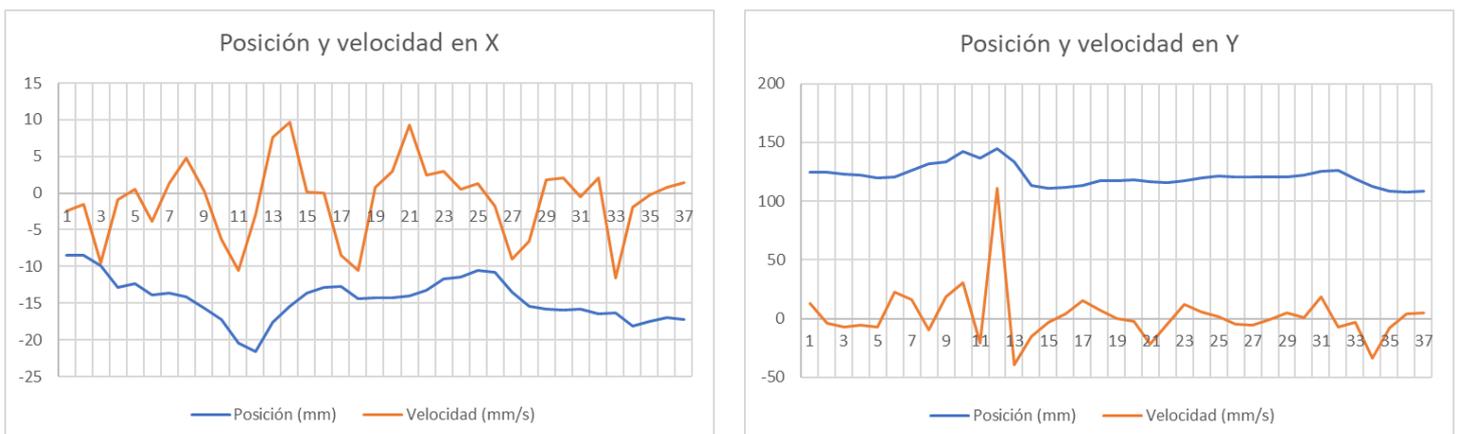
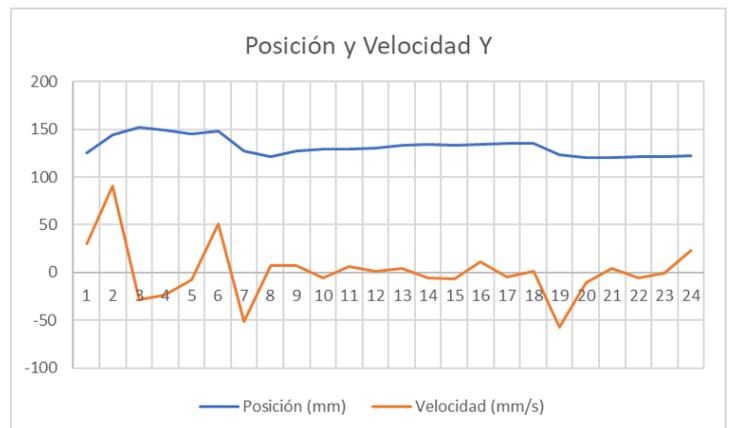
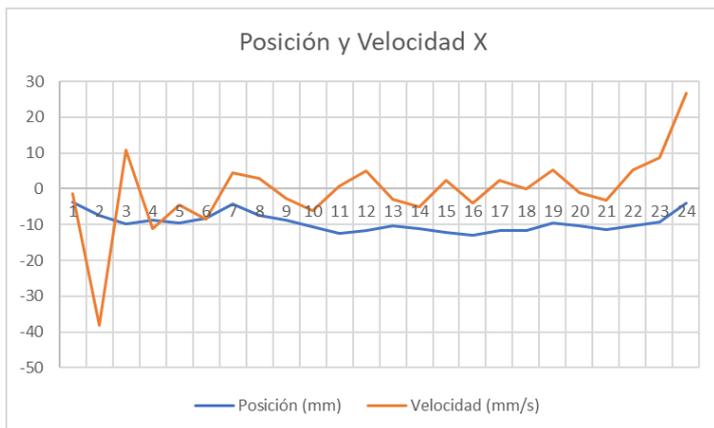




Figura 135. Posición y velocidad ejes coordenados 40 años enferma

- **Voluntario 7**

Analizando la posición y la velocidad en cada coordenada espacial por separado se puede observar las mismas actividades en las articulaciones metacarpofalángicas al abrir y cerrar el puño como movimiento inicial en el eje X y Z debido a la posición de Leap Motion® y el sistema cartesiano que utiliza para la toma de datos. La posición como se ha explicado anteriormente no sufre cambios significativos, motivos de un análisis extenso, debido a la secuencia optima de movimientos por parte de la mujer de 43 años.



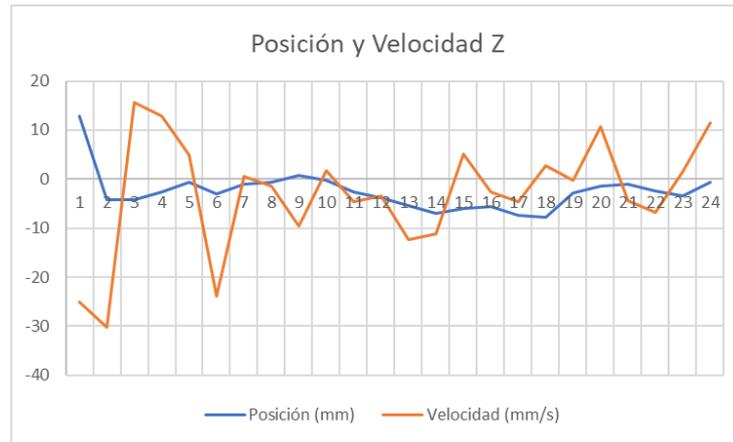


Figura 136. Posición y velocidad tres ejes coordenados 43 años enferma

- **Voluntario 8**

En el plano frontal, donde se produce el movimiento de flexo-extensión de la mano, se produce uno de los movimientos de análisis, esto se observa en los ejes espaciales, la mayor parte de acciones generadas por la voluntaria con la enfermedad no desarrollada responde a movimientos tanto en posición como en velocidad normales sin las complicaciones en comparación con otros casos mencionados anteriormente.

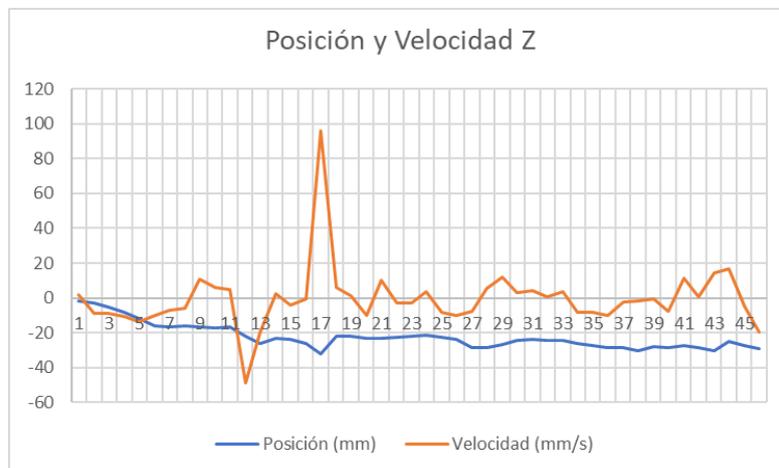
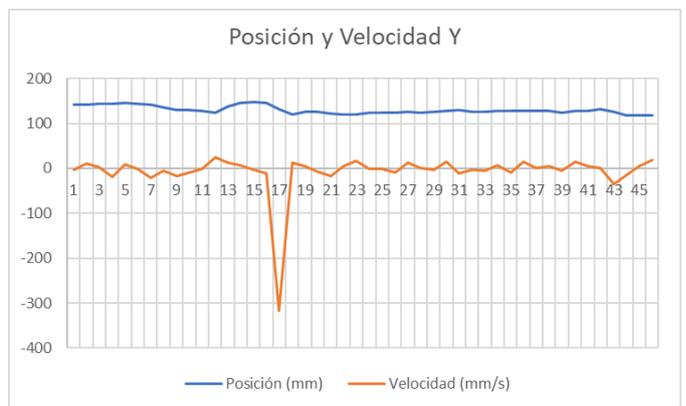
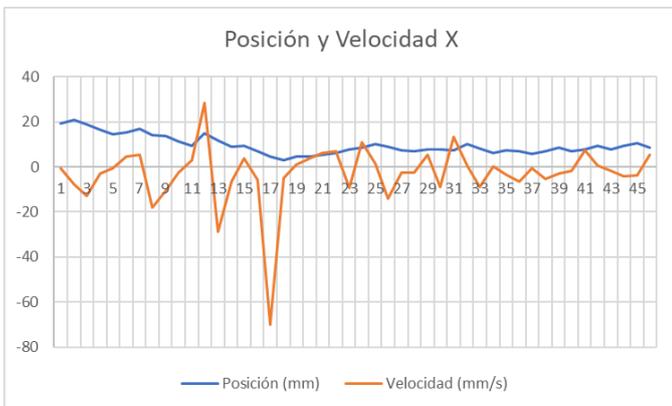


Figura 137. Posición y velocidad tres ejes coordenados 74 años enferma

El punto 12 cuyas oscilaciones se deben tomar en cuenta responden a un movimiento adicional y por lo tanto una velocidad diferente para flexionar las falanges completamente, esto corresponde a los ejes en X y Z, plano donde se realizan estos movimientos en la evaluación de las articulaciones.

```

1x12 struct array with fields:

    id
    timestamp
    hands
    version

impresion =

    0

Numero de manos: 1
Mano: 1
Posicion: 11.906361 137.214905 -26.303724
Velocidad: -28.930681 12.309628 -19.847446
Orientacion: 0.052981 0.118655 -0.276632 0.952150
Dedos levantados: 0
Dedos: 0 0 0 0
    
```

Figura 138. Posiciones obtenidas para análisis de movimientos

- **Voluntario 9**

En base al análisis previo para las variables de posición y velocidad se conoce de antemano un cambio significativo observado ahora en cada uno de los ejes coordenados. En la posición no hay cambios mayores, la velocidad en los puntos distintos a la flexo-extensión de las articulaciones de la mano PIP y MIP tienen una continuidad aceptable considerando la edad más la enfermedad degenerativa. La similitud en los ejes confirma lo mencionado anteriormente.





Figura 139. Posición y velocidad tres ejes coordenados 53 años enfermo

- Voluntario 10

Para el análisis conjunto de la posición y la velocidad en los ejes espaciales, tanto en el eje horizontal y la componente en Z donde se producen los movimientos de flexo-extensión existe un pico que sobresale de los demás registros en la persona con Síndrome de Sjögren tratándose de los movimientos al realizar la flexo-extensión y la posterior evaluación de las articulaciones interfalángicas de cada uno de los dedos por separado. El eje restante Y presenta movimiento fluctuante pero no con un movimiento brusco en la velocidad como en los ejes anteriores.

```

1x11 struct array with fields:

    id
    timestamp
    hands
    version

Numero de manos: 1
Mano: 1
    Posicion: -11.836242 149.401169 -1.202017
    Velocidad: 37.085102 5.364288 24.831289
    Orientacion: 0.059607 0.163883 -0.125059 0.976704
    Dedos levantados: 0
    Dedos: 0 0 0 0

1x12 struct array with fields:

    id
    timestamp
    hands
    version

Numero de manos: 1
Mano: 1
    Posicion: -9.182191 143.289581 2.988699
    Velocidad: 11.729263 -5.654945 0.528019
    Orientacion: 0.034353 0.135533 -0.037874 0.989452
    Dedos levantados: 1
    Dedos: 0 0 0 0

```

```

1x13 struct array with fields:

    id
    timestamp
    hands
    version

Numero de manos: 1
Mano: 1
    Posicion: -7.224227 141.445496 6.981268
    Velocidad: -8.508209 -10.695429 -3.091143
    Orientacion: 0.023321 0.134645 -0.045973 0.989552
    Dedos levantados: 5
    Dedos: 1 1 1 1 1

1x14 struct array with fields:

    id
    timestamp
    hands
    version

impresion =

    0

Numero de manos: 1
Mano: 1
    Posicion: -7.428804 137.686600 6.678026
    Velocidad: -0.356004 -0.594589 -4.349164
    Orientacion: 0.006395 0.136542 -0.029939 0.990161
    Dedos levantados: 5
    Dedos: 1 1 1 1 1

```

Figura 140. Análisis movimientos persona con Síndrome de Sjögren

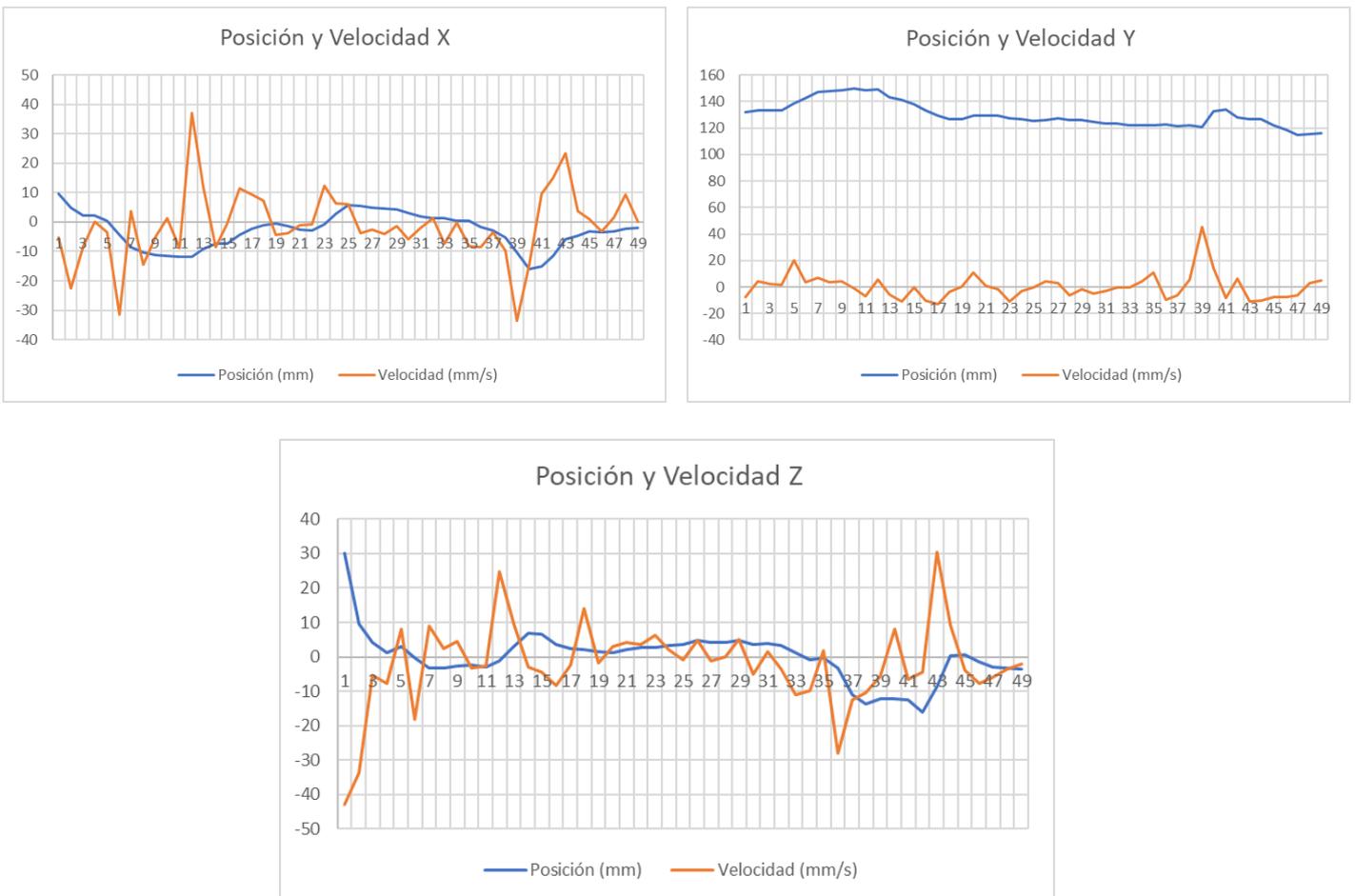


Figura 141. Posición y velocidad tres ejes coordenados 49 años enferma

ANALISIS EJES COORDENADOS POSICION Y VELOCIDAD PERSONAS SANAS

- **Voluntario 11**

La velocidad se ha mencionado que se mantiene en una fluctuación moderada, el único pico se encuentra en la coordenada Y debido al movimiento de natural realizado por la persona para extender completamente todas las falanges.

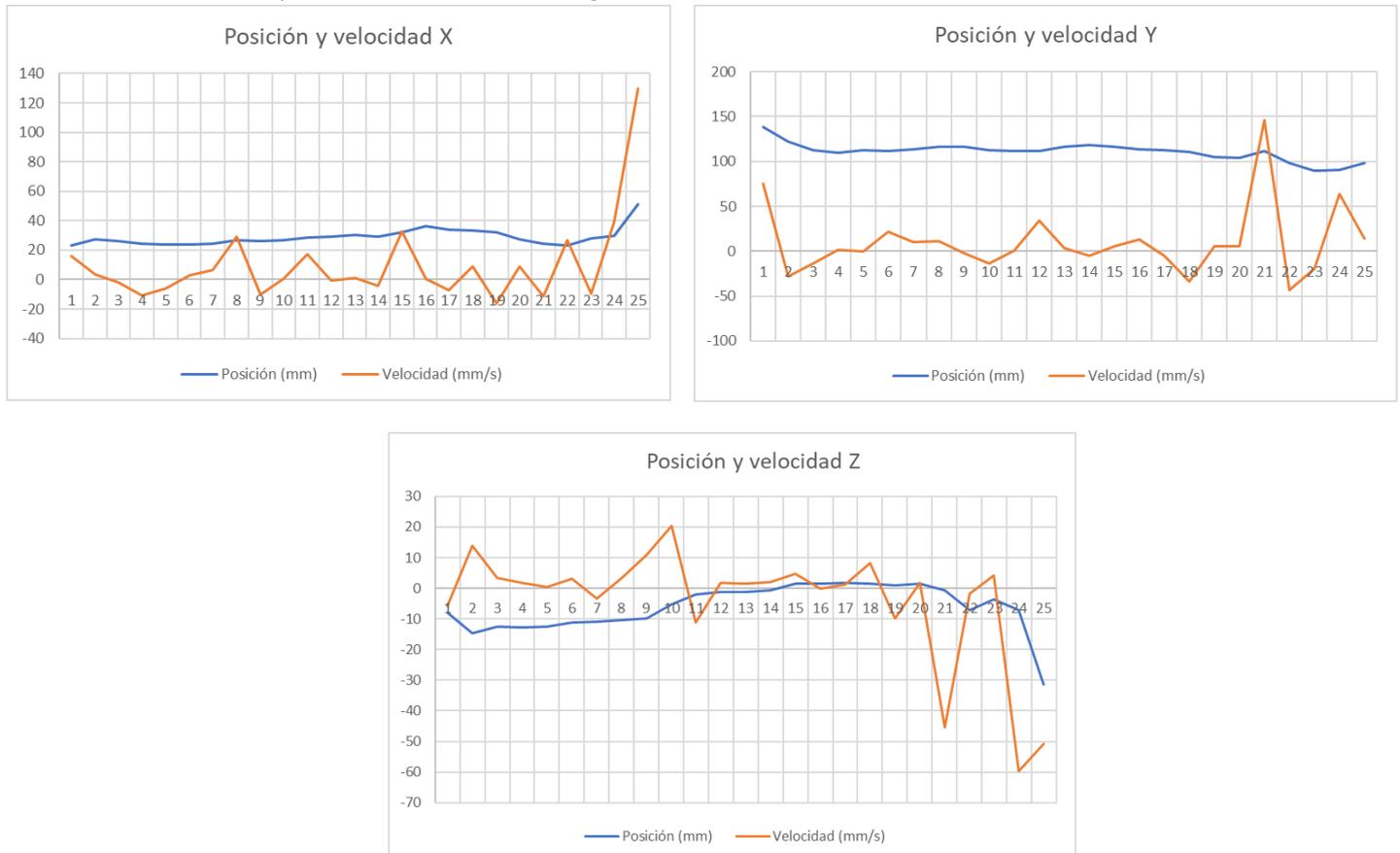


Figura 142. Análisis posición y velocidad tres ejes coordenados

- **Voluntario 12**

La velocidad y la posición, las dos variables presentadas por la obtención de datos con Leap Motion® manifiestan ciertas consideraciones para analizar, tanto en la gráfica correspondiente a la flexo-extensión dentro de los puntos 7-9, el voluntario la realiza de una manera rápida por la excelente movilidad de sus dedos. Se consideran en este también el análisis en los tres ejes coordenados donde la velocidad dentro del objetivo del protocolo mantiene una uniformidad oscilando muy poco.

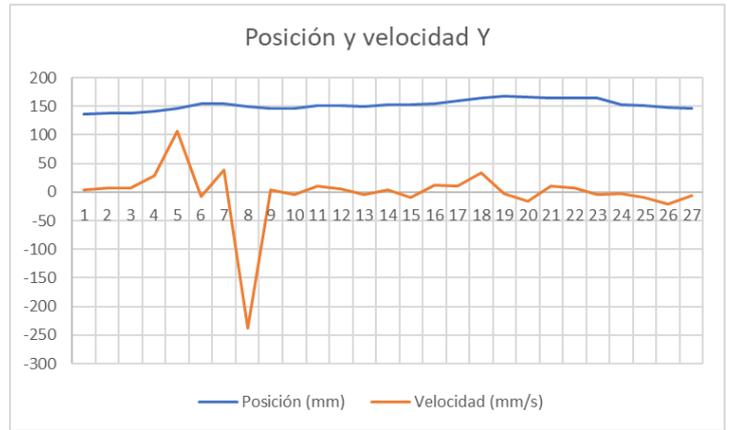
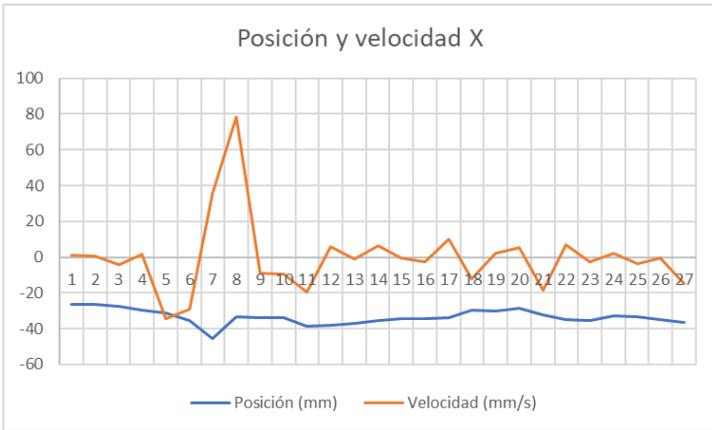


Figura 143. Análisis posición y velocidad tres ejes coordenados

- **Voluntario 13**

En la posición y velocidad analizados en cada punto de los ejes coordenados por separados el voluntario presenta una uniformidad en sus movimientos, es decir, mantiene un buen ritmo durante el rango de movimiento.

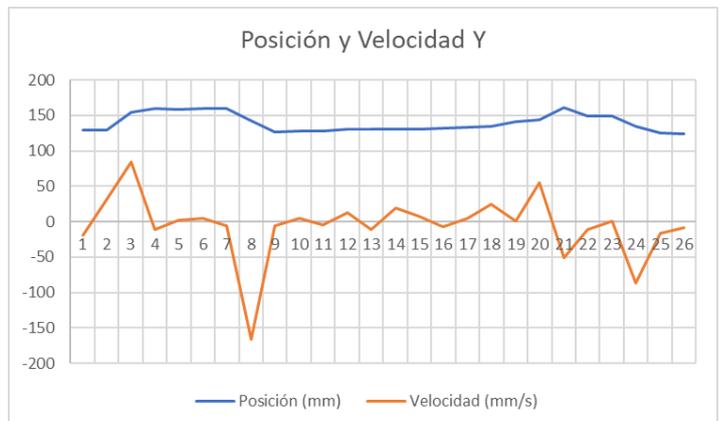
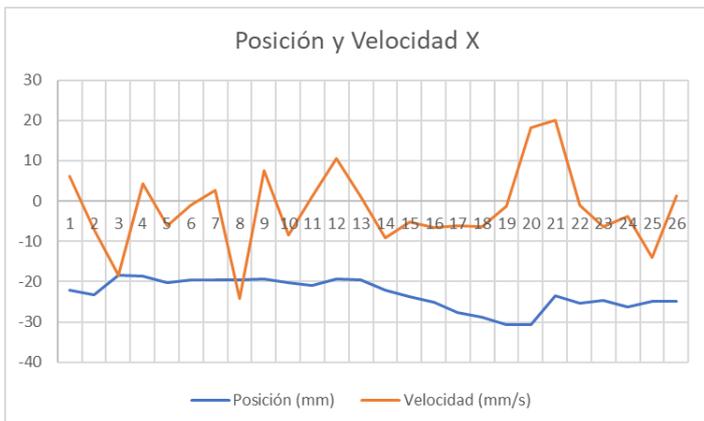




Figura 144. Análisis posición y velocidad tres ejes coordenados

- **Voluntario 14**

Los tres ejes coordenados para la comparación tanto la posición como la velocidad suponen diferentes acciones, por ejemplo, en el eje X corresponde a una fluctuación en la velocidad, respuesta del estado de salud de la persona al no padecer de ninguna enfermedad y realizar estos movimientos de forma rápida. Otro corresponde al eje Z donde las acciones generadas por la persona sana son muy rápidas principalmente en el análisis de las falanges y sus articulaciones interfalángicas proximales.



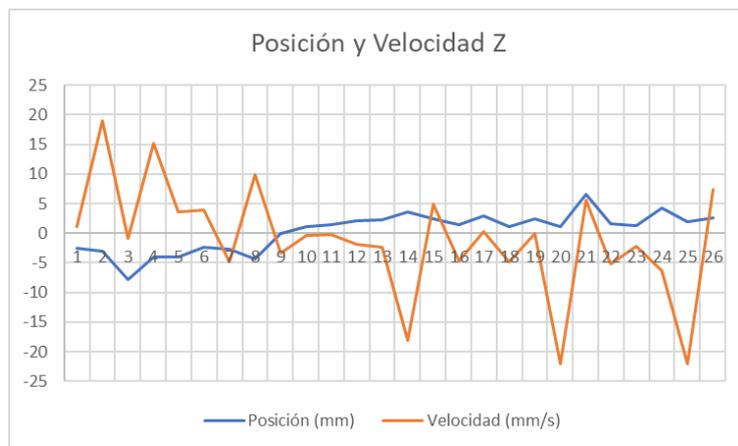


Figura 145. Análisis posición y velocidad tres ejes coordenados

- Voluntario 15

La valoración de las articulaciones interfalángicas en cada uno de los ejes coordenadas después del análisis de flexo-extensión en el apartado 3.1.4.5. La posición y la velocidad corresponde a ciertas variaciones en durante la generación de movimiento en estos puntos, como en el análisis del pico en la velocidad se explica en el párrafo anterior se mantiene una regularidad en los movimientos excepto el cambio brusco en la velocidad en los puntos 11 al 13.



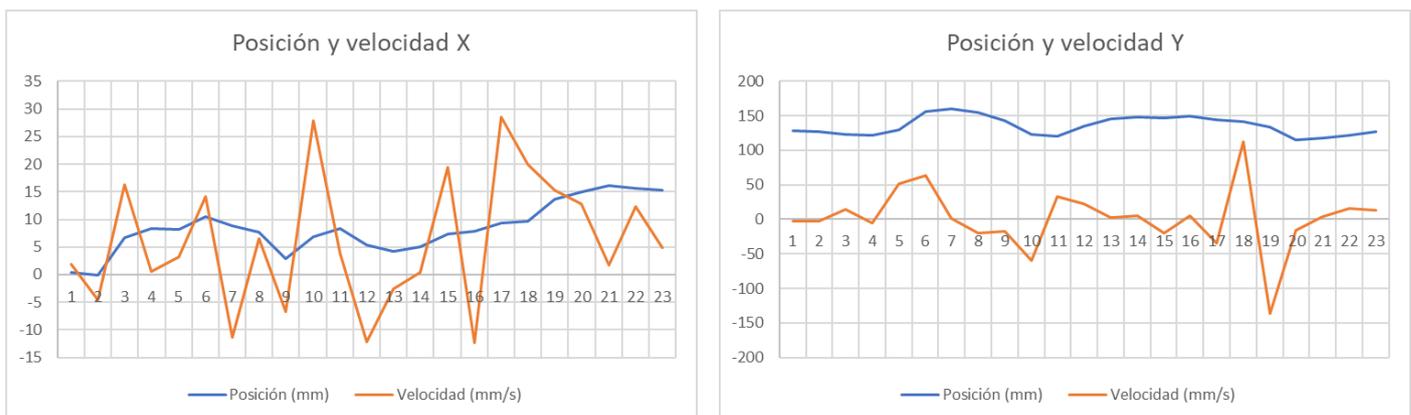
Figura 146. Análisis posición y velocidad tres ejes coordenados

- **Voluntario 16**

La evaluación en los ejes coordenados también presenta el mismo patrón de movimiento, salvo por los valores de velocidad por razones de la ligera pasividad en los movimientos en la primera captura de datos, mientras que en la segunda la generación de las acciones son mucha más rápidas pero la tendencia como se puede observar es la misma con picos altos en la flexo-extensión y la variabilidad en el análisis de la tercera cuarta y quinta falange



Figura 147. Análisis posición y velocidad tres ejes coordenados primera toma de datos



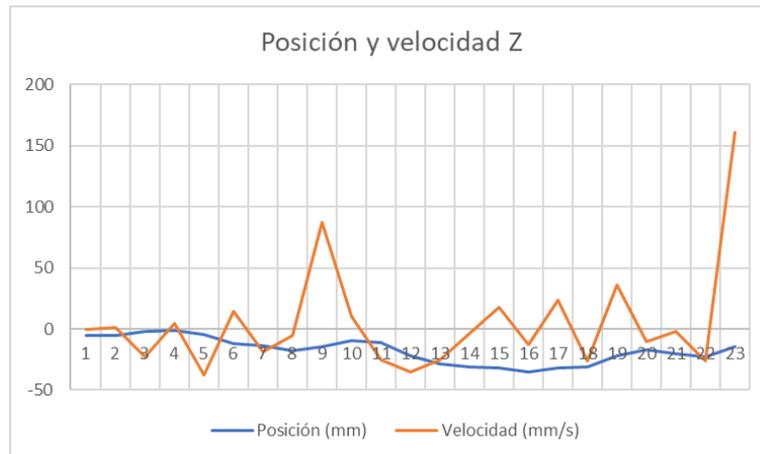


Figura 148. Análisis posición y velocidad tres ejes coordenados segunda toma de datos

- **Voluntario 17**

La evaluación en el caso de las variables posición y velocidad en cada uno de los ejes coordenados presentan similitud en las gráficas anteriores debido al compendio y adición de estas, por obvias razones los puntos críticos son 2-4 y después 16-18 con las explicaciones mencionadas en los párrafos anteriores. El caso particular está centrado en el eje Z. En el punto 9 al 14 la posición sufre fluctuaciones anormales, es el primer caso en los participantes sanos que presentan estas oscilaciones. La explicación en el análisis de estos puntos trata de los movimientos rápidos en las articulaciones interfalángicas proximales desde la cuarta falange, las acciones generadas son veloces y debido a ello presentan esas fluctuaciones cambiantes.

1x8 struct array with fields:

```
id
timestamp
hands
version
```

Numero de manos: 1

Mano: 1

```
Posicion: -35.727844 178.298843 -2.886841
Velocidad: -4.600582 22.548105 -18.988701
Orientacion: 0.054171 0.033783 0.036531 0.997291
Dedos levantados: 3
Dedos: 1 1 1 0
```

1x9 struct array with fields:

```
id
timestamp
hands
version
```

Numero de manos: 1

Mano: 1

```
Posicion: -35.029240 179.214737 -4.005970
Velocidad: -0.533370 0.516033 18.878607
Orientacion: 0.056537 0.039833 0.040978 0.996764
Dedos levantados: 3
Dedos: 1 1 1 0 0
```

1x10 struct array with fields:

```
id
timestamp
hands
version
```

Numero de manos: 1

Mano: 1

```
Posicion: -35.935490 179.275970 -2.843093
Velocidad: -3.671017 6.097696 3.239231
Orientacion: 0.074647 0.042231 0.047988 0.995159
Dedos levantados: 2
Dedos: 1 1 0 0 0
```

1x11 struct array with fields:

```
id
timestamp
hands
version
```

Numero de manos: 1

Mano: 1

```
Posicion: -36.610847 178.847794 -1.737465
Velocidad: -1.161450 2.066610 6.469142
Orientacion: 0.078172 0.044266 0.048895 0.994756
Dedos levantados: 2
Dedos: 1 1 0 0 0
```

1x12 struct array with fields:

```
id
timestamp
hands
version
```

Numero de manos: 1

Mano: 1

```
Posicion: -36.403488 181.179733 -2.327691
Velocidad: 4.796118 12.494982 6.176240
Orientacion: 0.094278 0.039980 0.024284 0.994446
Dedos levantados: 1
Dedos: 1 0 0 0 0
```

1x13 struct array with fields:

```
id
timestamp
hands
version
```

Numero de manos: 1

Mano: 1

```
Posicion: -35.702686 181.081955 1.369576
Velocidad: 10.801158 -22.317307 33.476910
Orientacion: 0.094224 0.033447 0.020838 0.994771
Dedos levantados: 1
Dedos: 1 0 0 0 0
```

1x14 struct array with fields:

```
id
timestamp
hands
version
```

Numero de manos: 1

Mano: 1

```
Posicion: -36.105408 175.405426 5.401433
Velocidad: 1.182445 -7.135672 5.781662
Orientacion: 0.083446 0.026271 0.009926 0.996116
Dedos levantados: 1
Dedos: 1 0 0 0 0
```

Figura 149. Análisis movimiento hombre 48 años sano

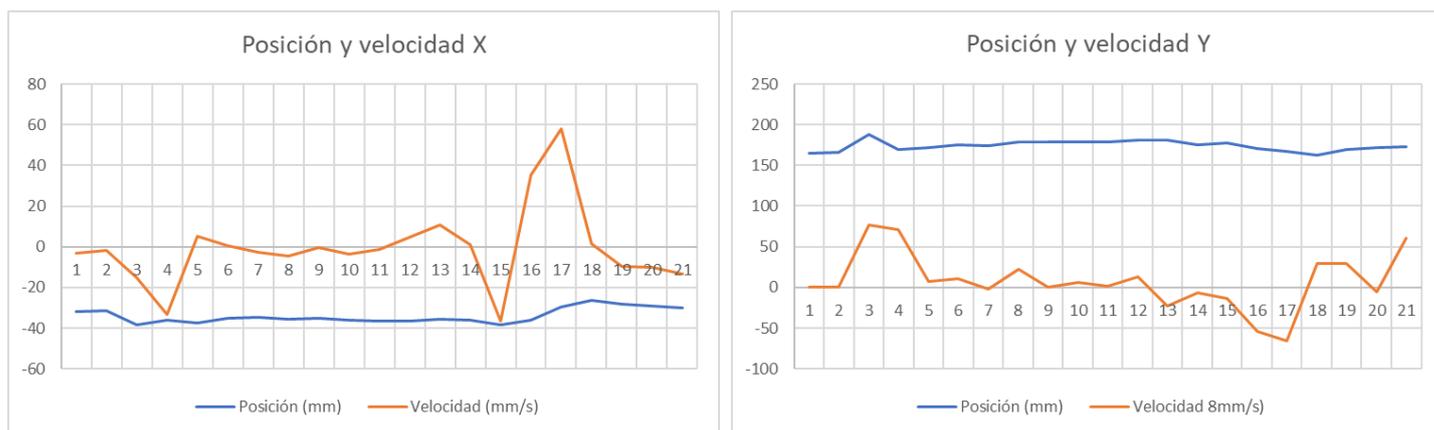


Figura 150. Análisis posición y velocidad tres ejes coordenados

- **Voluntaria 18**

Los movimientos analizados para las variables de posición y velocidad en los ejes espaciales también indican ciertas fluctuaciones debido al movimiento continuo, pero al cambio de velocidad con implicación de la fuerza en la articulación metacarpofalángica. Los movimientos críticos se los observa en las coordenadas X y Z correspondiente al plano frontal donde se generan los movimientos de flexión y extensión de la articulación los puntos como se parecía son los mismo evaluados en el párrafo anterior

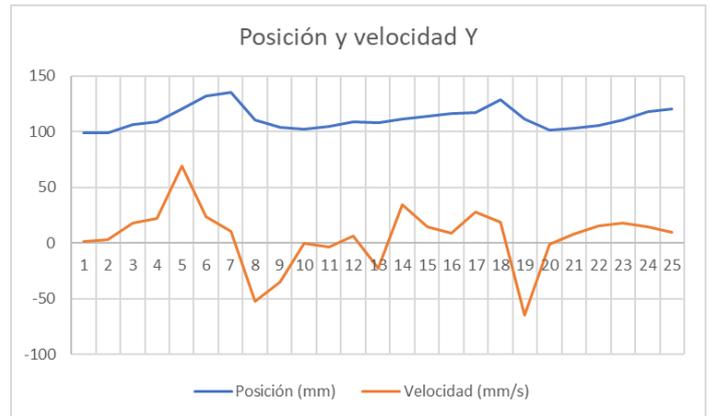
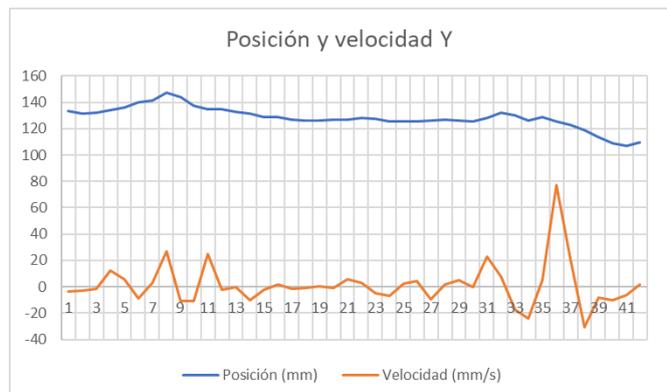


Figura 151. Análisis posición y velocidad tres ejes coordenados

- **Voluntario 19**

Dentro de la comparación entre los ejes coordenados en el eje Y y Z existe una variación de la velocidad entre los puntos 11-13 tomados en tiempo real mediante Leap Motion®. En las demás evaluaciones respecto a las articulaciones interfalángica de cada uno de los dedos son uniformes, el paciente no presenta limitaciones y por eso no se requiere una valoración adicional en comparación con casos anteriores



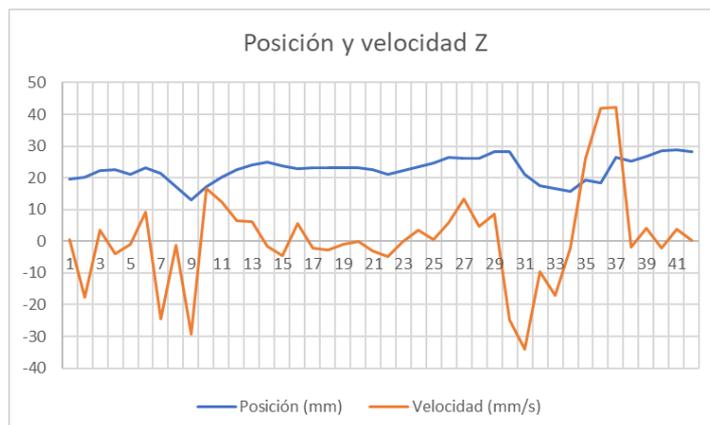


Figura 152. Análisis posición y velocidad tres ejes coordenados

- Voluntario 20

La evaluación de la velocidad y la posición en cada eje coordenado presenta un comportamiento diferente a la valoración general en base al protocolo del punto 2.4. En los 3 ejes espaciales los puntos de análisis están en los datos capturados del 3-6 donde se produce un movimiento de flexo-extensión. El posterior pico en los últimos puntos se explica en el párrafo anterior. En el eje X el plano frontal donde se genera la flexión y extensión de las falanges, el movimiento de cada articulación interfalángica provoca una fluctuación a lo largo de la toma de datos en tiempo real

1x3 struct array with fields:

```
id
timestamp
hands
version
```

Numero de manos: 1

Mano: 1

```
Posicion: -178.699615 263.732086 -2.398894
Velocidad: -546.989868 167.762650 1097.918091
Orientacion: -0.441032 -0.542150 0.467283 0.541489
Dedos levantados: 1
Dedos: 1 1 1 1
```

1x4 struct array with fields:

```
id
timestamp
hands
version
```

Numero de manos: 1

Mano: 1

```
Posicion: 5.034509 117.292397 26.430061
Velocidad: -6.721818 1.877591 -9.413334
Orientacion: -0.065511 -0.000819 -0.100902 0.992737
Dedos levantados: 5
Dedos: 1 1 1 1 1
```

1x5 struct array with fields:

```
id
timestamp
hands
version
```

Numero de manos: 1

Mano: 1

```
Posicion: 3.913951 118.397873 25.679258
Velocidad: -7.430351 -5.389079 1.437850
Orientacion: -0.054758 0.000132 -0.109990 0.992423
Dedos levantados: 5
Dedos: 0 0 0 0 0
```

1x6 struct array with fields:

```
id
timestamp
hands
version
```

Numero de manos: 1

Mano: 1

```
Posicion: 2.594167 119.106544 25.498249
Velocidad: -3.402733 15.537823 2.613248
Orientacion: -0.056771 0.000189 -0.123464 0.990724
Dedos levantados: 5
Dedos: 1 1 1 1 1
```

Figura 153. Análisis movimiento segundo pico hombre 45 años sano



Figura 154. Análisis posición y velocidad tres ejes coordenados