



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

TEMA:

**“IDENTIFICACIÓN DE LA INTENCIÓN DE MOVIMIENTO
DE LOS DEDOS DE LA MANO”**

AUTOR:

Hugo David Enríquez Espinosa

DIRECTOR:

MSc. Gabriela Alexandra Verdezoto Carranco

IBARRA, 2019



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

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

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	0401566153
APELLIDOS Y NOMBRES:	Enríquez Espinosa Hugo David
DIRECCIÓN:	Los Ceibos
EMAIL:	hdenriqueze@utn.edu.ec
TELÉFONO MÓVIL:	0997453367

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	IDENTIFICACIÓN DE LA INTENCIÓN DE MOVIMIENTO DE LOS DEDOS DE LA MANO
AUTOR (ES):	ENRIQUEZ ESPINOSA HUGO DAVID
FECHA:	2019-12-18
PROGRAMA:	PREGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERA EN MECATRÓNICA
ASESOR /DIRECTOR:	MSC. GABRIELA VERDEZOTO

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 18 días del mes de diciembre del 2019

AUTOR:



Hugo David Enríquez

c.c.: 0401566153



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE FACULTAD DE
INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

CERTIFICACIÓN

En calidad de directora del trabajo de grado **“IDENTIFICACIÓN DE LA INTENCIÓN DE MOVIMIENTO DE LOS DEDOS DE LA MANO”**, presentado por el egresado HUGO DAVID ENRÍQUEZ ESPINOSA, para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica, certifico que el mencionado proyecto fue realizado bajo mi dirección.

MSc. Gabriela Verdezoto

DIRECTORA DE TESIS

AGRADECIMIENTO

El amor de las personas que te rodean es fundamental para aumentar tu confianza y alcanzar tus metas. En primer lugar, quisiera agradecer a mi familia, que nunca ha dudado de mí, ni de mis capacidades durante todo este caminar universitario. Especialmente a mis padres, Hugo y Patty, mi hermana Lucy, mi sobrina Sofía y mi abuelo Rodrigo, sin ellos nada hubiese sido posible, muchas gracias por todas las enseñanzas, por su entrega, por el amor que me entregan todos los días, su esfuerzo y sacrificio han sido mi más grande motivación durante esta etapa de mi vida.

Debo mencionar a mis tíos Tomás, Luis, Cristian, y Laura por su acogida y cariño incondicional, sin ellos el esfuerzo hubiese sido aún mayor, muchas gracias por su tiempo y dedicación.

A Fernando y Christian con quienes hemos compartido altos y bajos, frustraciones y logros, alegrías y tristezas durante estos 6 años de universidad, muchas gracias, son y serán mis grandes amigos. También a mis compañeros y amigos: Peter, Daniel, Gabriel, David y Karina, gracias por sus consejos, apoyo, conocimientos y ayuda que me han dado, tanto en lo académico, como en lo personal.

Agradecer a mi ángel en el cielo Beatriz que desde lo lejos siempre me cuidó y finalmente, a mis tutores y guías en esta investigación, gracias por confiar en mis capacidades y apoyarme incondicionalmente, entregándome sus consejos y sugerencias para poder entregar un buen trabajo.

Hugo David E.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, mi hermana, mi sobrina, mi abuelo, y mi ángel en el cielo, quienes con su sacrificio, cuidado y profundo amor me ayudaron a culminar esta meta en mi vida, y de manera especial a mi abuelo, quien desde pequeño me guió, aconsejó, fue mi compañero durante toda mi vida universitaria y que ahora tengo la gran felicidad de poder compartir este triunfo junto con él.

A mis tíos, quienes, con su ayuda, me supieron acoger y guiar en los momentos más complicados, una parte de ustedes también se encuentra reflejada en este trabajo.

Y a mis amigos, que durante todo este tiempo me brindaron su ayuda incondicional y me acogieron en una ciudad distinta, como uno más de los suyos.

Hugo David E

RESUMEN

El presente trabajo expone, la identificación de la intención de movimiento de los dedos de la mano, previo a esto, se hizo énfasis en los movimientos de estudio principales, siendo la base para el desarrollo del estudio de reconocimiento y ubicación de los músculos principales a los movimientos de flexión y extensión interfalángica de los dedos de la mano.

Para el desarrollo de este estudio se realizó un estudio histórico a los métodos de análisis de señales bioeléctricas, así como las metodologías implementadas para el proceso de adquisición y caracterización de señales mioeléctrica, además del uso de una técnica de reconocimiento de patrones. Tras el desarrollo de un sistema de interfaz de adquisición - caracterización de señales electromiográficas a 8 canales de reconocimiento y el uso del dispositivo MYO, ubicado en el antebrazo a los músculos de acción principal a los movimientos de la mano, luego las señales adquiridas se normalizan y rectifican, haciéndolas óptimas para el proceso de caracterización a los métodos comunes en el dominio del tiempo y frecuencia, logrando de esta manera obtener un total de 100 muestras de cada uno de los movimientos de estudio, mismos que están integrados a 5 intenciones realizadas por muestra.

Una vez obtenida la base de datos característicos de cada uno de los movimientos de estudio, se aplicó el proceso de clasificación de las señales, haciendo uso de una base de datos para el entrenamiento de la máquina de soporte vectorial, y otra base de datos para la comprobación.

ABSTRACT

The present work exposes, the identification of the intention of the movement of the fingers of the hand, prior to this, emphasis was placed on the movements of study main, remain the basis for the development of the study of recognition and location of the major muscles to the movements of flexion and extension interfalángica of the fingers of the hand.

For the development of this study was conducted a historical study of the methods of analysis of signals bioeléctricas, as well as the methodologies implemented for the process of acquisition and characterization of signals mioeléctrica, as well as the use of a technique of pattern recognition. After the development of a system of acquisition interface - characterization of signals electromiográficas to 8 channels of recognition and use of the device MYO, located in the forearm to the main action muscles to the hand movements, then the acquired signals are normalized and rectified, making them optimal for the process of characterization to the common methods in the domain of the time and frequency, thus achieving a total of 100 samples of each of the study movements, which are integrated with 5 intentions made per sample.

Once the database characteristic of each one of the movements of study, applied the classification process of the signals, making use of a database for the training of the machine support vector, and another database for the check

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	1
Planteamiento Del Problema.....	1
Objetivos	2
Objetivo General	2
Objetivos Específicos.....	2
Alcance del Proyecto.....	2
Justificación.....	2
Aportes y Limitaciones	3
I. MARCO TEÓRICO	5
1.1 Biomecánica de la mano	5
1.1.1 Anatomía de la mano.....	5
1.1.2 Articulaciones De La Mano	5
1.1.4 Músculos involucrados en el movimiento de los dedos y muñeca.....	8
1.2 Electromiografía (EMG)	9
1.2.1 Cuantificación de la señal EMG.....	10
1.2.1.1 Variables de frecuencia	10
1.2.1.2 Variables de amplitud.....	10
1.2.2 Normalización de los datos en una señal EMG.....	11
1.2.3 Electrodos Invasivos y No Invasivos	12
1.3 Aprendizaje de máquina (Machine Learning).....	13
1.3.1 Métodos de aprendizaje de máquina supervisados.....	14
1.3.1.1 Máquinas de soporte vectorial (SVM)	15
II. METODOLOGÍA.....	19
2.1 Selección de los movimientos de los dedos de la mano.....	19
2.2 Selección de músculos del brazo involucrados en el movimiento de los dedos de la mano	
20	

2.3	Selección de sensores y software para adquisición de señales electromiográficas	22
2.4	Brazalete electromiográfico no invasivo (Myo).....	24
2.5	Adquisición y procesamiento de la señal electromiográfica	27
2.6	Interfaz De Usuario	28
2.7	Caracterización De Señales Emg.	31
2.8	Implementación de un algoritmo de machine learning para la clasificación de los movimientos de cada dedo la mano.	34
2.9	Máquina de soporte vectorial	35
III. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		37
3.1	Pruebas de conexión con el brazalete.....	37
3.2	Pruebas de Adquisición de señales EMG.....	37
3.3	Selección de características y visualización	39
3.4	Validación de las señales obtenidas.	45
3.5	Pruebas del algoritmo de clasificación del movimiento individual de los dedos de la mano.	50
3.6	Configuración Algoritmo One Vs One	51
3.7	Configuración Algoritmo One Vs All.....	60
3.8	Resultados De Clasificación Por Kernel Utilizado	68
3.9	Resultados Finales De Clasificación	68
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		69
	Conclusiones	69
	Recomendaciones.....	70
Bibliografía		71
ANEXOS.....		75
	ANEXO A.....	76
	ANEXO B	80
	ANEXO C	85

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1 Dibujo esquemático del esqueleto de la mano.	6
Figura 2 Características de la Raw Signal o señal bruta.....	10
Figura 3 Variables de amplitud. Registro de la señal rectificada (mV), la curva envolvente (mV) y la señal integrada (mV/s).....	11
Figura 4 Conjunto de vectores separados por un hiperplano (en este caso una línea = hiperplano en dos dimensiones).	16
Figura 5 Matriz codificada para un problema con cuatro clases [17]	17
Figura 6 Partes del brazalete MYO.	25
Figura 7 Ubicación del dispositivo sobre el antebrazo.....	26
Figura 8 Interfaz de conexión (computador - brazalete)	28
Figura 9 Interfaz de adquisición de datos.....	29
Figura 10 Diagrama de flujo del funcionamiento de la Interfaz.....	30
Figura 11 Características: Energía, Amplitud de Wilson, integral de la señal, de los canales 1,2 y 8 respectivamente.....	34
Figura 12 Interfaz con la conexión exitosa.....	37
Figura 13 Vista lateral (a) y vista inferior (b) del movimiento de flexión interfalángica del dedo índice.	38
Figura 14 Visualización de las señales obtenidos de la flexión interfalángica del dedo índice.	38
Figura 15 Representación de las 11 características referente a la flexión interfalángica del dedo pulgar.....	39
Figura 16 Representación de las 11 características referente a la flexión interfalángica del dedo meñique.	40
Figura 17 Representación de las 11 características referente a la flexión interfalángica del dedo medio.	40
Figura 18 Representación de las 11 características referente a la flexión interfalángica del dedo índice.	41
Figura 19 Representación de las 11 características referente a la flexión interfalángica del dedo anular.	41

Figura 20 Representación de las 11 características referente a la extensión interfalángica del dedo pulgar.....	42
Figura 21 Representación de las 11 características referente a la extensión interfalángica del dedo meñique.	42
Figura 22 Representación de las 11 características referente a la extensión interfalángica del dedo medio.	43
Figura 23 Representación de las 11 características referente a la extensión interfalángica del dedo índice.	43
Figura 24 Representación de las 11 características referente a la extensión interfalángica del dedo anular.	44
Figura 25 Ubicación de los sensores de prueba en relación con la posición de los electrodos del brazalete Myo	46
Figura 26 a) Resultado por canal del dispositivo de prueba 1 y b) Resultado por canal del dispositivo de prueba 2.....	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Arcos de Movilidad de los dedos de la mano. [6]	6
Tabla 2 Músculos de la muñeca y la mano [7].	8
Tabla 3 Métodos de Machine Learning.....	14
Tabla 4 Tipos de kernel utilizados en MSV	17
Tabla 5 Selección de los movimientos de los dedos de la mano	19
Tabla 6 Músculos del brazo utilizados en el estudio. [18]	20
Tabla 7. Resultados del análisis ponderado en electrodos.....	22
Tabla 8 Elección de los electrodos por método ponderado	23
Tabla 9 Resultados del análisis ponderado en Software.....	23
Tabla 10 Elección de software por método ponderado	24
Tabla 11 Músculos sobre los cuales se poseionan los electrodos del Myo.....	26
Tabla 12 Características basadas en el análisis del dominio del tiempo y frecuencia.....	31
Tabla 13 Valor de las características crudas de la flexión interfalángica del pulgar.....	33
Tabla 14 Configuración de una máquina de soporte vectorial	35
Tabla 15 Entrenamiento y prueba.....	35
Tabla 16 Datos de salida.....	36
Tabla 17 Adquisición de datos.	37
Tabla 18 Resumen de los canales que intervienen en cada movimiento.....	45
Tabla 19 Relación entre músculos, canales del sensor y movimiento de estudio.	45
Tabla 20 Relación de posición entre los canales de prueba y el brazalete Myo.....	47
Tabla 21 a) Características del canal 1 en la prueba 1 y b) Características del canal 1 en la prueba 2	48
Tabla 22 Relación entre las características obtenidas mediante el brazalete y el dispositivo de prueba para el movimiento interfalángico del dedo medio	49
Tabla 23 Resultados de la validación para la flexión interfalángica del pulgar, índice, Anular, Meñique.....	50
Tabla 24 Configuración One vs One - Kernel Lineal.....	51
Tabla 25 Configuración One vs One - Kernel Polinomial	55
Tabla 26 Configuración One vs One - Kernel Gaussiano	57

Tabla 27 Configuración One vs All - Kernel Lineal	60
Tabla 28 Configuración One vs All - Kernel Polinomial.....	63
Tabla 29 Configuración One vs All - Kernel Gaussiano.....	65
Tabla 30 Resumen de los mejores resultados de cada configuración con su kernel utilizado.	68
Tabla 31 Resultados con mayor porcentaje por algoritmo.	68

INTRODUCCIÓN

Planteamiento Del Problema

A partir de datos relevantes del Centro de Rehabilitación Integral Ibarra N° 4 del Ministerio de Salud Pública y además tomando como referencia del Consejo Nacional de Igualdad de Discapacidades, en Ecuador, el 48,99 % de personas con 26 capacidades diferentes que es equivalente a 3.880 habitantes, sufren algún tipo de discapacidad física alusivas a accidentes de tránsito, de trabajo o problemas congénitos y neurológicos, de los cuales el 0,03% en la Zona 1 corresponden a inhabilidad física por dificultades neurológicas e inmovilización o traumatismo de los dedos de la mano, que disminuye de manera significativa el desempeño de las personas afectadas por esta situación [1].

Previamente se han realizado trabajos acerca de la rehabilitación de la mano, enfocándose esencialmente en los dedos. Rehabilitadores activos y pasivos ya han sido parte de procesos de investigación, teniendo un gran avance a la hora de la recuperación del movimiento y disminución del agotamiento en pacientes y fisioterapeutas. Un trabajo investigativo realizado por estudiantes de la carrera de Ingeniería en Mecatrónica en la Universidad Técnica del Norte [2] recomienda que: “para futuras investigaciones implementar un sistema de control mediante señales EMG, ya que generarán mayor estabilidad en el dispositivo “.

En el Grupo de Investigación de Sistemas Inteligentes (GISI) se ha planteado un proyecto de investigación llamado Estudio de señales biométricas provenientes de la acción muscular para lo cual, el siguiente estudio forma parte de los objetivos que contribuyen al desarrollo del proyecto.

Con esta información se pretenden desarrollar investigaciones de rehabilitadores activos de dedos, los cuales funcionan con las señales EMG obtenidas del brazo del paciente en

perfecto estado, para que el rehabilitador realice los mismos movimientos en el brazo en el caso de personas que ha sufrido una reducción parcial del movimiento de los dedos.

Objetivos

Objetivo General

Identificar la intención de movimiento individual de los dedos de la mano.

Objetivos Específicos

- Adquirir las señales electromiográficas del movimiento individual de los dedos de la mano.
- Extraer las características de las señales electromiográficas.
- Inferir la intención del movimiento individual de los dedos de la mano a través de métodos de aprendizaje de máquina.

Alcance del Proyecto

En el presente proyecto se obtendrán las señales electromiográficas en el antebrazo provenientes del movimiento de flexión y extensión de los dedos, se aplicarán técnicas de procesamiento y caracterización de las mismas con el fin de determinar las señales electromiográficas que permiten diferenciar el movimiento individual de cada uno de los dedos.

Justificación

Este proyecto surgió gracias a cambios experimentados en el mundo entero, y a necesidades que se generan por parte de personas que por una u otra razón han sufrido algún trauma (lesiones, fisuras, fracturas) en su mano o dedos, o no solo eso, sino para el campo científico e investigativo [3]. Previamente se realizaron estudios en los cuales se analizan las características de las señales EMG enfocándose a la realización de dispositivos que mejoren la calidad de vida de las personas con los padecimientos previamente descritos [4]. Lo que se pretende realizar en el presente trabajo, es interpretar las señales EMG emitidas por los músculos del antebrazo con el fin de mejorar o recuperar la movilidad de los dedos de la mano.

Las consecuencias tras la pérdida o incapacidad funcional de uno o varios dedos de la mano pueden resumirse de la siguiente forma:

- Pérdida de un dedo largo: Las consecuencias son mínimas, pues no compromete la formación del puño ni la capacidad prensil.
- Pérdida de tres dedos de la mitad interna: En este caso es imposible la formación del puño, aunque se conserva la pinza pulgar-índice.
- Pérdida del pulgar: se conserva la capacidad de formar el puño, pero no la de la presa entre el pulgar y uno o varios dedos largos.
- Pérdida de los dedos índice y medio: ello conlleva una insuficiente formación del puño, así como la función de la pinza que se halla seriamente comprometida, ya que la que se forma entre el pulgar y el anular-meñique no es tan eficaz.
- Pérdida del pulgar, índice y medio: en este caso hay una insuficiente formación del puño y una pérdida total de la presa en pinza.
- Pérdida de todos los dedos: imposibilita la formación del puño y cualquier presa en pinza. Corresponde casi a la pérdida de toda la mano [5].

Por ende, con este estudio se quiere aportar a investigaciones que su principal objetivo es dar una mejor calidad de vida a cualquier persona que tenga afectada la motricidad de sus dedos, generando en futuras investigaciones, rehabilitadores de dedos activos controlados con señales EMG, los cuales disminuirán el tiempo de rehabilitación, así como también reducirán el cansancio relacionado con la práctica de estos tratamientos.

Aportes y Limitaciones

El presente trabajo se desarrollará en base a la implementación de un dispositivo que extrae las señales EMG de ocho canales obteniendo de esta manera la dependencia de movimientos básicos de los dedos de la mano ejercidos por el usuario, además consta de una interfaz de adquisición para el análisis de señales EMG a la intención de movimiento ejercido.

I. MARCO TEÓRICO

1.1 Biomecánica de la mano

1.1.1 Anatomía de la mano

La mano es un órgano móvil de elevada complejidad y con múltiples facetas. Se valora y juzga en función de su rendimiento y disponibilidad tanto en tareas prensiles delicadas como en los patrones de toma de fuerza. Es móvil y adaptable ya que se adapta a la forma de los objetos que se agarran o estudian, enfatiza o gesticula ante una idea que se quiere expresar, o muestra una acción de amor o afecto. [1]

La mano es el segmento final en la cadena mecánica de palancas que comienza en el hombro. La movilidad y estabilidad del hombro, codo y muñeca, todas operando en distintos planos, permite que la mano se mueva dentro de un gran volumen de espacio y que alcance todas las partes del cuerpo con relativa facilidad. La estabilidad y movilidad y movilidad única de los 19 huesos y 14 articulaciones de la mano proporcionan la base estructural para la adaptabilidad funcional de la mano. [2]

1.1.2 Articulaciones De La Mano

Los dedos son los componentes básicos de la mano (Figura 1). Debido a que cada unidad digital se prolonga hacia la mitad de la mano, el término hilera digital se usa para indicar toda la cadena, compuesta por un metacarpiano y tres falanges (dos, en el pulgar). Las hileras digitales se numeran del lado radial al cubital: I (pulgares), II (dedo índice), III (dedo corazón), IV (dedo anular), V (dedo meñique). Cada hilera digital se articula proximalmente con un hueso carpiano determinado en una articulación carpometacarpiana (CMC). Entre las falanges de los dedos se encuentra la articulación interfalángica proximal (IFP) y una distal (IFD); el pulgar solo tiene una articulación interfalángica (IF). [2]

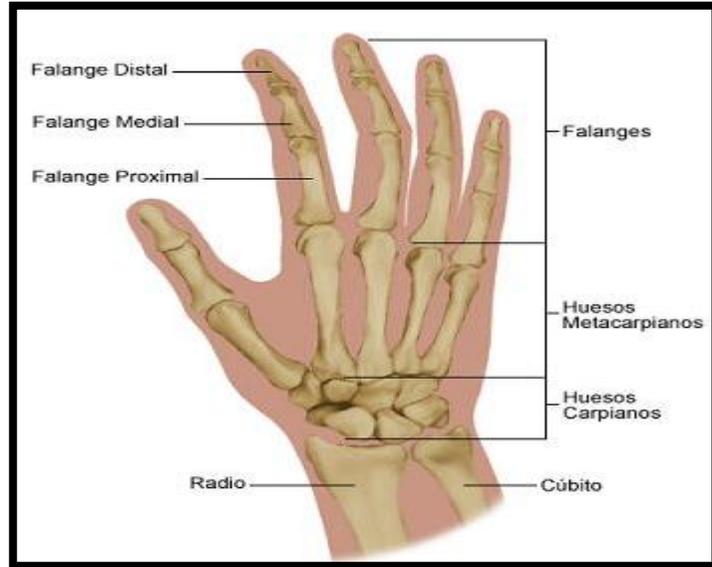


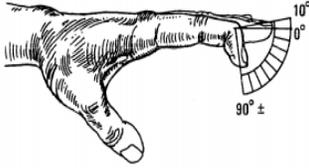
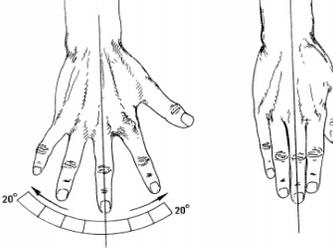
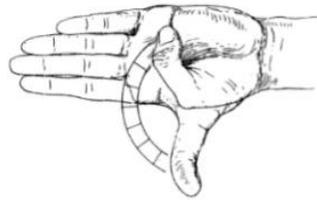
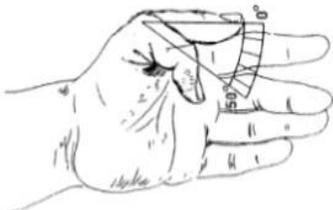
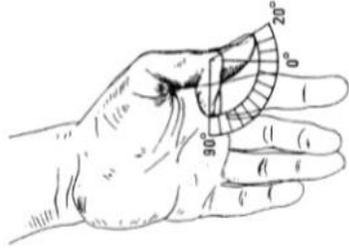
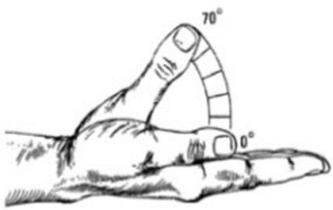
Figura 1 Dibujo esquemático del esqueleto de la mano.

1.1.3 Arcos de movilidad de las articulaciones de los dedos de la mano.

Por tener los dedos y en especial el pulgar, la mano tiene numerosos movimientos en los cuales intervienen las articulaciones falángicas entre ellas y con los metacarpos.

Tabla 1 Arcos de Movilidad de los dedos de la mano. [6]

MOVIMIENTOS DE LAS ARTICULACIONES DE LOS DEDOS DE LA MANO		
MOVIMIENTO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
FLEXIÓN Y EXTENSIÓN METACARPOFALÁNGICA	El arco total de movimiento es de 120° a 135° y está dividido en 90° para la flexión y de 30° a 45° para la extensión.	
FLEXIÓN Y EXTENSIÓN INTERFALÁNGICA PROXIMAL	Un arco de movimiento total de 100° asociados únicamente para la flexión en la normalidad no existe extensión de esta articulación.	

MOVIMIENTO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
FLEXIÓN Y EXTENSIÓN INTERFALÁNGICA DISTAL	Un arco de movimiento total de 90° a 100° dividido 90° para la extensión y 0° a 10° para la flexión.	
ABDUCCIÓN Y ADUCCIÓN DE LOS DEDOS	Es el movimiento en el cual los dedos se juntan y se separan entre si, en la abducción deben separarse 20° entre si y en la aducción se juntan y se tocan entre sí.	
FLEXIÓN Y EXTENSIÓN TOTAL DEL PULGAR	Normalmente, este movimiento es el que permite que se junte la punta del meñique con la del pulgar si ambos están flexionados.	
FLEXIÓN Y EXTENSIÓN METACARPOFALÁNGICA DEL PULGAR	Describe un arco de 50° en flexión, sin haber ángulo de extensión	
FLEXIÓN Y EXTENSIÓN INTERFALÁNGICA DEL PULGAR	Tiene un arco total de movimiento de 90° a 110° de movimiento dividiéndose en 90° para flexión y de 0° a 20° para la extensión	
ABDUCCIÓN Y ADUCCIÓN PALMAR DEL PULGAR	En condiciones normales pulgar e índice forman un ángulo de 70° aproximadamente cuando el pulgar está en abducción total.	

1.1.4 Músculos involucrados en el movimiento de los dedos y muñeca

En la tabla 2, se presenta un resumen de los músculos que actúan en el movimiento de la muñeca y la mano.

Tabla 2 Músculos de la muñeca y la mano [7].

MÚSCULOS DE LA MUÑECA Y MANO	
MÚSCULOS DE LA MUÑECA	
MÚSCULO	ACCIÓN
FLEXORES	
CUBITAL ANTERIOR	Flexión de muñeca; desviación cubital de la mano
PALMAR MAYOR	Flexión de muñeca; desviación radial de la mano
PALMAR MENOR	Tensión de la fascia palmar
EXTENSORES	
PRIMER Y SEGUNDO RADIAL	Extensión de muñeca; desviación radial de la mano
CUBITAL POSTERIOR	Extensión de muñeca; desviación cubital de la mano
PRONADORES Y SUPINADORES	
PRONADOR REDONDO	Pronación del antebrazo
PRONADOR CUADRADO	Pronación del antebrazo
SUPINADOR CORTO	Supinación del antebrazo
SUPINADOR LARGO	Pronación o supinación, depende de la posición del antebrazo
MÚSCULOS DE LA MANO	
MÚSCULO	ACCIÓN
FLEXORES	
FLEXOR SUPERFICIAL DE LOS DEDOS	Flexión de las articulaciones IFP y MCF
FLEXOR PROFUNDO DE LOS DEDOS	Flexión de las articulaciones IFD, IFP, y MCF
FLEXOR LARGO DEL PULGAR	Flexión de las articulaciones IF y MCF del pulgar
EXTENSORES	
EXTENSOR LARGO DEL PULGAR	Extensión de las articulaciones IF y MCF del pulgar, aducción secundaria del pulgar
EXTENSOR CORTO DEL PULGAR	Extensión de la articulación MCF del pulgar

MÚSCULOS DE LA MANO	
EXTENSORES	
MÚSCULO	ACCIÓN
ABDUCTOR LARGO DEL PULGAR	Abducción del pulgar
EXTENSOR PROPIO DEL ÍNDICE	Extensión del dedo índice
EXTENSOR COMÚN DE LOS DEDOS	Extensión de los dedos
EXTENSOR PROPIO DEL MEÑIQUE	Extensión del meñique
ABDUCTOR CORTO DEL PULGAR	Abducción del pulgar
FLEXOR CORTO DEL PULGAR	Flexión y rotación del pulgar
OPONENTE DEL PULGAR	Rotación del primer metacarpiano hacia la palma.

1.2 Electromiografía (EMG)

La electromiografía (EMG) se define como la disciplina relacionada con la detección, análisis y uso de la señal eléctrica que se genera cuando un músculo se contrae. La EMG es una medida de valoración indirecta de la actividad muscular, ya que detecta la actividad eléctrica que se genera por el paso del impulso nervioso que provoca un potencial de acción en la membrana de la célula muscular. Este potencial está compuesto por tres fases: la despolarización de la membrana, la repolarización y un periodo de hiperpolarización, generando un campo eléctrico que es recogido por los electrodos de EMG. [3] [4]

En estudios dinámicos las unidades motoras de activación (UMAs) detectables en el lugar donde está colocado el electrodo, se superponen eléctricamente, observándose como una señal bipolar con una distribución simétrica de amplitudes negativas y positivas. La señal que se obtiene sin filtrar es la llamada “Raw signal o señal bruta” que está compuesta por periodos de contracción y relajación. En el periodo de relajación observamos la línea de base EMG, que depende de muchos factores (calidad del amplificador, ruido ambiente y la calidad de la condición de detección dada), y si estos factores están en márgenes adecuados la línea no debe ser superior a 3-5 microvoltios como se observa en la figura 2. [3]

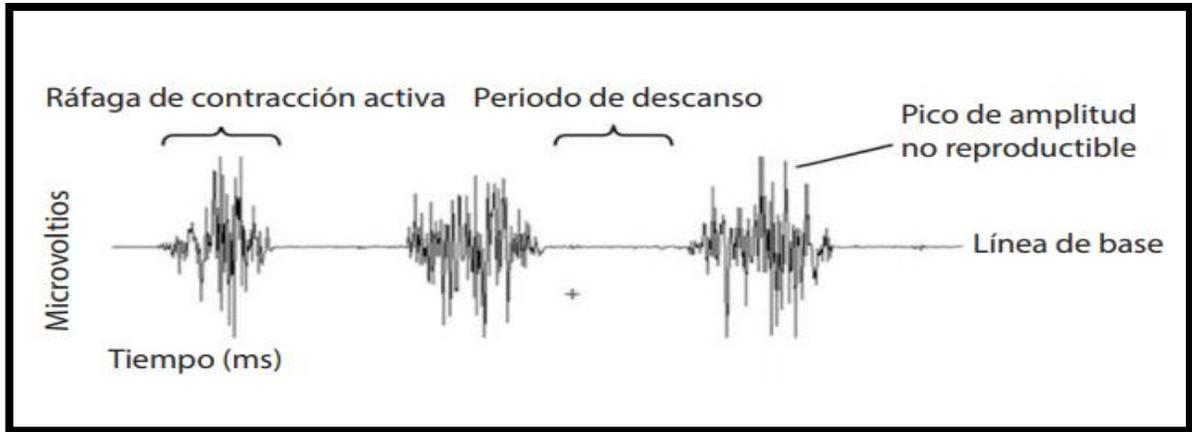


Figura 2 Características de la Raw Signal o señal bruta.

1.2.1 Cuantificación de la señal EMG

En el proceso de la cuantificación de la señal hay que tener en cuenta que existen muchas variables que pueden afectarla, las cuales son, variables de frecuencia y de amplitud.

1.2.1.1 Variables de frecuencia

El espectro de frecuencias nos muestra la frecuencia de actuación de las UMAs durante la acción analizada. En la EMG esta frecuencia oscila entre 10 y 250 Hz [5]. En el análisis de la frecuencia podemos extraer varios valores: frecuencia media, que es el promedio de todas las frecuencias; y la frecuencia mediana (MF), frecuencia a la que el espectro es dividido en dos regiones de igual potencia [6]. Además, hay otras medidas de frecuencia que no están basadas en el espectro de frecuencias como son el “cruce por cero” (número de veces que la señal bruta cruza la línea de base), que se relaciona con la fuerza de contracción; el “número de giros” (punto donde la dirección de la señal cambia tras una diferencia de potencial de más de 100 mV).

1.2.1.2 Variables de amplitud

Se estudia la “integración de la señal” que es la cantidad total de actividad muscular en un intervalo de tiempo. La “curva envolvente” se obtiene tras la rectificación de las señales. Para que sea válida debe realizar el registro a frecuencias de muestreo altas [5], [6] como en la figura 3.

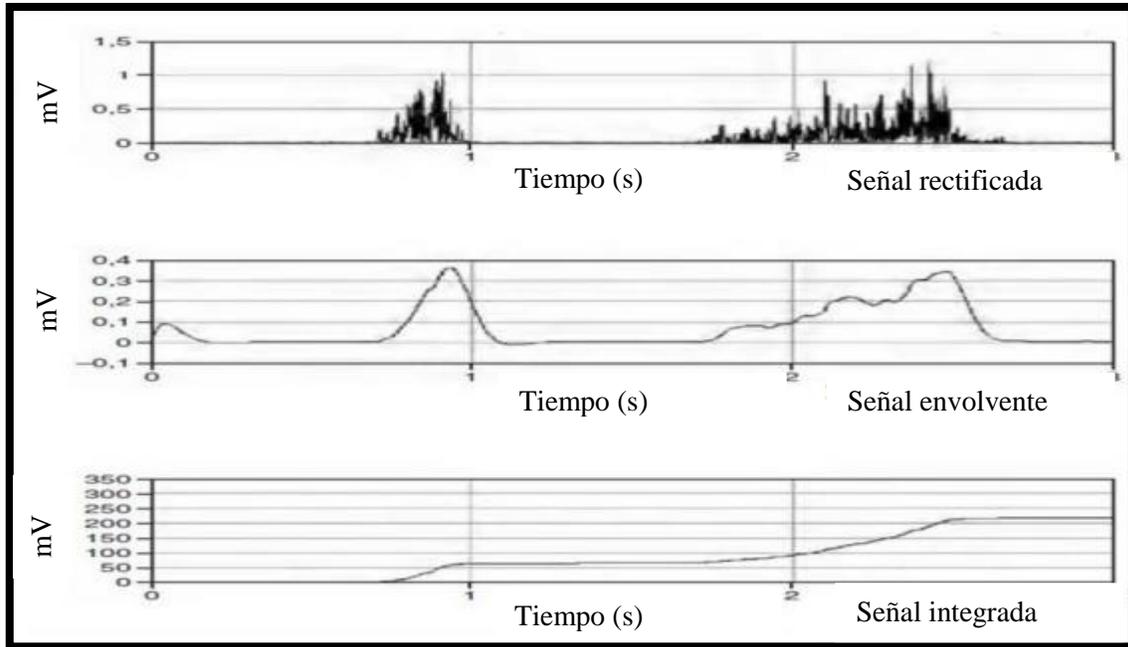


Figura 3 Variables de amplitud. Registro de la señal rectificada (mV), la curva envolvente (mV) y la señal integrada (mV/s).

También se valora el poder eléctrico de la señal electromiográfica, es decir el “root mean square” o línea media cuadrática (RMS), que es la raíz cuadrada del área entre el cuadrado de la señal y el tiempo computado en un intervalo de tiempo dividido entre dicho tiempo. No necesita rectificación, se obtiene en tiempos variables según la actividad estudiada y aporta mayor información que la señal integrada [5] [6].

1.2.2 Normalización de los datos en una señal EMG

Se necesita llevar a cabo una normalización de los datos, es decir expresarlos respecto a un valor de referencia obtenido, ya que los valores absolutos no representan el esfuerzo muscular. En la señal recogida en el músculo influyen numerosos factores como, la variabilidad en el reclutamiento neural, grosor del tejido adiposo, longitud del musculo en reposo, área transversal muscular, velocidad de contracción, tipos de fibras, distancia interelectrodos, colocación de los electrodos, impedancia de la piel, etc. [5] [6].

1.2.3 Electrodo Invasivos y No Invasivos

Los sensores invasivos se refieren a los electrodos que necesariamente deben penetrar la piel y estar adjunto al músculo en estudio, a pesar de que este trabajo de investigación no está involucrado a este tipo de electrodos, es importante remarcar las diferencias para tener en claro el uso recomendado para este tipo de sensor. [7]

Entre los que destacan es el electrodo aguja, este tiene la capacidad de tener una amplia calidad para la visualizar PUM, control de las propiedades de los UM (tasa de disparo, reclutamiento, etc.) y electromiografía clínica exploratoria. Por último, el otro tipo de sensor es el electrodo tipo alambre fino recomendado para el estudio profundo de kinesiología, estudio profundo neurofisiológico, estudio limitado de las propiedades de las unidades motoras y un profundo estudio con grabación de músculos profundos [8].

El sensor no invasivo hace referencia de los sensores EMG que se ubica por encima de la piel, más no ingresado a través de este órgano; permitiendo un estudio sin agujas que implica un estricto uso. Eso no quita responsabilidad para el uso de los electrodos adhesivos, se debe tener en cuenta aun el riesgo eléctrico que puede tener el paciente en caso de no contar con un sistema de aislamiento o seguridad del sistema electrónico [8].

Existen dos categorías de electrodo de superficie: pasivo y activo. El electrodo pasivo consiste en una superficie de detección conductora (generalmente metálica) que detecta la corriente en la piel a través de su interfaz de electrodo de piel. Los electrodos activos contienen un amplificador electrónico de alta impedancia de entrada en la misma carcasa que las superficies de detección. Esta disposición lo hace menos sensible a la impedancia (y por lo tanto a la calidad) de la interfaz electrodo-revestimiento. La tendencia actual es hacia electrodos activos. [7]

Es el electrodo aquel dispositivo que entra en contacto con la capa superficial de la piel, para lo cual se necesita el mejor contacto y este a la vez debe tener una baja impedancia. La composición del gel conductor es por lo más común es Ag/AgCl. Sin embargo, existen patentes de unas marcas de proveedores los cuales tiene una configuración o composición únicas las cuales tienen sus ventajas sobre otros o una aplicación específica [7].

Según las recomendaciones producidas por la European Concerted Action Surface EMG for Noninvasive Assessment of Muscle, indica que las medidas de un electrodo en su diámetro deben ser menor o igual a 10mm y la separación entre ambos electrodos debe ser menor o igual que 20 mm [7].

Para el estudio sEMG, el uso y ubicación de los electrodos es crucial para la fidelidad, calidad, confiabilidad y amplio detalle para diagnóstico médico, es por eso que el proceso de limpieza de piel donde va a ser aplicado debe estar libre de vello para que no influya en la señal obtenida.

1.3 Aprendizaje de máquina (Machine Learning)

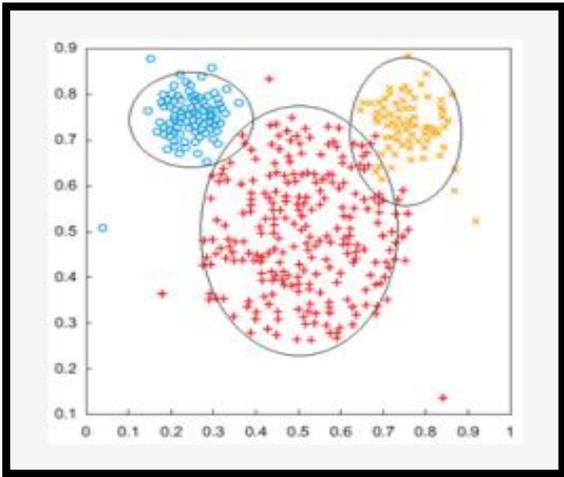
Para transformar una enorme cantidad de datos en información y conocimiento, se aplica Machine Learning, cuya definición más simple es “enseñarle a una computadora a detectar patrones y hacer conexiones mostrándole un set de datos y aplicándole algoritmos para que la máquina parametrize cómo realizar una tarea por sí misma; aprenda, y se vuelva más inteligente para resolver problemas”. Va más allá de lo que pueden hacer las analíticas de Big Data, y en general más allá de lo que pueden hacer los humanos [9].

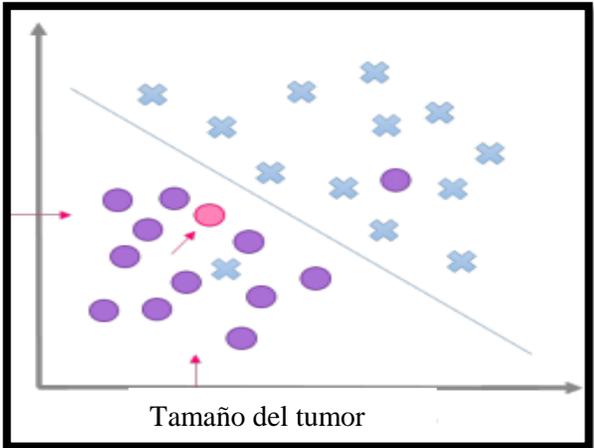
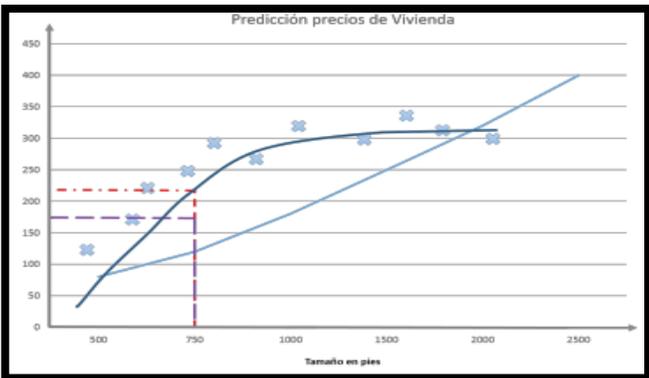
Con Machine Learning es posible optimizar la operación en tiempo real, contar con predicciones, personalizar los productos y servicios, estimar la demanda futura, conocer las tendencias, detectar anomalías, realizar mantenimientos preventivos, procesar datos no estructurados, hacer predicciones de diferentes tipos, prevenir fraudes y en general, hacer más eficiente la operación de una empresa. [10]

1.3.1 Métodos de aprendizaje de máquina supervisados

Dentro del Machine Learning existen tres métodos de aplicación diferenciados, los cuales se explicarán de manera específica en la tabla 3. [10] [11]

Tabla 3 Métodos de Machine Learning

MÉTODO DE AGRUPACIÓN	
DEFINICIÓN	EJEMPLO
Este método se utiliza cuando se necesita clasificar las instancias de datos, pero no se conocen previamente las categorías. Esta agrupación permite construir grupos (cluster) coherentes de instancias teniendo en cuenta las variables de la data.	 <p>Ej. No se sabe de antemano que tipos de documentos se tiene, al aplicar el algoritmo de clasificación se encuentra que se tienen 3 clasificadores del conjunto de documentos.</p>

MÉTODO DE CLASIFICACIÓN	
DEFINICIÓN	EJEMPLO
<p>Método utilizado para predecir un resultado de un atributo con valor discreto (a, b, c, ...) dadas unas características ($X_0, X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$). El método simple de clasificación es el binario, donde se clasifica un registro de variables de entrada en 1 o 0. La clasificación múltiple es una extensión de la clasificación binaria</p>	<p>Ej: Identificar si un tumor es maligno o benigno, dado su tamaño y edad del paciente.</p> 
MÉTODO DE REGRESIÓN	
DEFINICIÓN	EJEMPLO
<p>Este método se utiliza para predecir el valor de un atributo continuo. Consiste en encontrar la mejor ecuación que atraviese de forma óptima un conjunto de puntos (n-dimensiones). Se utiliza cuando la precisión no es crítica y el número de variables es pequeño.</p>	 <p>EJ. Predecir el precio de una vivienda, dado su tamaño.</p>

1.3.1.1 Máquinas de soporte vectorial (SVM)

Los SVM son una herramienta usada en la clasificación de objetos puntuales de dos clases que ha resultado ser muy poderosa, se basa en encontrar una superficie de clasificación determinada por ciertos puntos de un conjunto de entrenamiento, este conjunto de vectores

debe estar en la frontera entre los dos subconjuntos en que se clasificarán los puntos, estos vectores son llamados vectores de soporte y describen. Las SVM son un paradigma aparte de la Redes Neuronales, pero a pesar de tener similitudes están mejor fundamentadas en la teoría y tienen mucho mejor capacidad de generalización. [12]

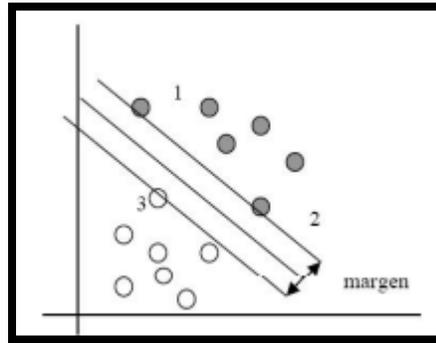


Figura 4 Conjunto de vectores separados por un hiperplano (en este caso una línea = hiperplano en dos dimensiones).

En la figura 4, se muestran los 3 vectores de soporte para esta muestra en el plano. Para obtener la superficie de separación se deberá resolver un problema de programación cuadrática convexa, con restricciones lineales, cuyo número de variables es igual al número de datos de entrenamiento. construir una SVM que sepa mapear los valores de los vectores x_i a los valores de las etiquetas y_i correspondientes, por medio de una función de decisión $y = f: \mathbb{R}^n \rightarrow \{1, -1\}$. los puntos para clasificar están en \mathbb{R}^n y debemos clasificarlos en uno u otro subconjunto $\{1, -1\}$. [12]

Una máquina de vectores de soporte (SVM) es un algoritmo de aprendizaje supervisado que se puede emplear para clasificación binaria o regresión. Las máquinas de vectores de soporte son muy populares en aplicaciones como el procesamiento del lenguaje natural, el habla, el reconocimiento de imágenes y la visión artificial. [13]

Las máquinas de vectores de soporte pertenecen a una clase de algoritmos de Machine Learning denominados métodos kernel y también se conocen como máquinas kernel.

Entre los kernels populares que se emplean con las máquinas SVM se incluyen los nombrados en la tabla 4:

Tabla 4 Tipos de kernel utilizados en MSV

Tipo de SVM	Kernel Mercer	Descripción
Función de base radial (RBF) o gaussiana.	$K(x_1, x_2) = \exp\left(-\frac{\ x_1 - x_2\ ^2}{2\sigma^2}\right)$	Aprendizaje de una sola clase; es la anchura del kernel
Lineal	$K(x_1, x_2) = x_1^T x_2$	Aprendizaje de dos clases
Polinómica	$K(x_1, x_2) = (x_1^T x_2 + 1)^\rho$	ρ es el orden del polinomio

Además, las máquinas de soporte vectorial en su algoritmo interno de clasificación utilizan dos configuraciones muy importantes, las cuales son:

- **One vs all:** Consiste en tomar una clase y aprender a discriminar esa clase del resto. Transforma un problema de c clases en c problemas binarios, de forma que $l = c$. Estos problemas de dos clases se construyen usando los ejemplos de la clase i como ejemplos positivos y los ejemplos del resto de clases como los ejemplos negativos. La matriz codificada M para esta técnica se puede ver en la figura 5 (a). Los cuadrados negros representarían la clase “one” y los cuadrados grises “all”. [14]
- **One vs one:** la idea de esta técnica es muy simple, consiste en entrenar un clasificador para cada par de clases. La matriz codificada M para esta técnica sería la que se puede observar en la figura 5 (b). Las etiquetas positivas están representadas como cuadrados negros, las negativas como cuadrados grises y los cuadrados blancos indican las etiquetas de clases que no se emplean. [14]

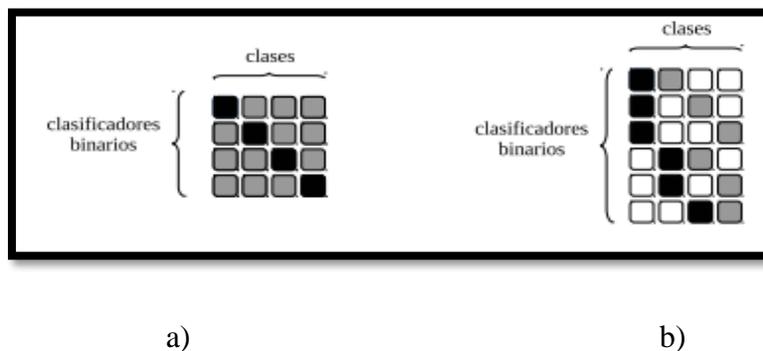


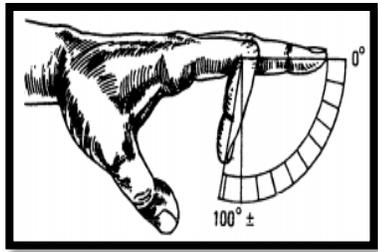
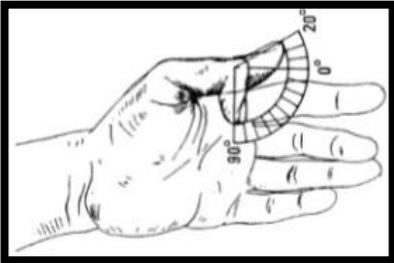
Figura 5 Matriz codificada para un problema con cuatro clases [17]

II. METODOLOGÍA

2.1 Selección de los movimientos de los dedos de la mano.

Los movimientos más comunes y los cuales serán comprendidos en el presente estudio de los dedos de la mano se representan en la tabla 5.

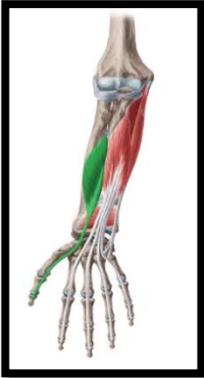
Tabla 5 Selección de los movimientos de los dedos de la mano

MOVIMIENTO	DESCRIPCIÓN	GRÁFICA
Flexión Y Extensión Interfalángica Proximal	Un arco de movimiento total de 100° asociados únicamente para la flexión en la normalidad no existe extensión de esta articulación	
Flexión Y Extensión Interfalángica Del Pulgar	Tiene un arco total de movimiento de 90° a 110° de movimiento dividiéndose en 90° para flexión y de 0° a 20° para la extensión	

2.2 Selección de músculos del brazo involucrados en el movimiento de los dedos de la mano

Para la obtención de señales, se necesita establecer los músculos responsables del movimiento de cada dedo, para lo cual se realizó la tabla 6.

Tabla 6 Músculos del brazo utilizados en el estudio. [18]

MÚSCULO	ORIGEN	INSERCIÓN	FUNCIÓN
Músculo Flexor Largo Del Pulgar 	En la parte medial anterior del radio, junto al flexor profundo	En la cara anterior de la base de la 3ª falange (distal) del pulgar.	Flexión de la 3ª falange del pulgar. Su acción continuada lleva a flexión y abducción del metacarpiano y de la muñeca. Es el único flexor largo.
Flexor Común Superficial De Los Dedos 	En la epitroclea humeral, la apófisis coracoides del cúbito y en la parte media de la superficie anterior del radio.	Se inserta por 4 tendones que se separan después de pasar por la muñeca y van a los 4 últimos dedos. Frente a la primera falange, cada tendón se abre en 2 bandas que van a insertarse en los lados de la base de la	Flexión de la muñeca. Flexión de articulaciones metacarpofalángicas. Flexión articulaciones interfalángicas proximales.

MÚSCULO	ORIGEN	INSERCIÓN	FUNCIÓN
<p>Flexor Común Profundo De Los Dedos</p> 	<p>En la cara anterior de los $\frac{3}{4}$ superiores del cúbito y en la membrana interósea.</p>	<p>Mediante 4 tendones que se separan después de pasar por la muñeca, en la 3ª falange de los 4 últimos dedos (en la superficie anterior de la base de la 3ª falange).</p>	<p>Flexor de la muñeca. Flexor metacarpofalángica. Flexor de las 2 Interfalángicas: dobla la 3ª falange sobre la 2ª, y participa en la flexión de las otras 2 falanges.</p>
<p>Musculo Extensor Propio Del Dedo Meñique</p> 	<p>En la cara posterior del cúbito, junto al extensor común de los dedos.</p>	<p>En el tendón del extensor común de los dedos por el lado cubital del tendón y en la primera falange del meñique por su lado cubital</p>	<p>Extensor de la primera falange del meñique. Extensor de la muñeca.</p>

2.3 Selección de sensores y software para adquisición de señales electromiográficas

Para la realización del presente proyecto se presentaron varias alternativas de solución por lo que se procedió a realizar un diseño de selección basado en el método ponderado de opciones. A continuación, en la tabla 7 se exponen los resultados en cuanto a los electrodos a usar.

- Solución A: Electrodo de cloruro de plata
- Solución B: Brazaletes Myo
- Solución C: Electrodo de aguja invasivo

Tabla 7. Resultados del análisis ponderado en electrodos.

Precio	Solución A	Solución B	Solución C	E+1	Ponderación
Solución A	x	0,5	0,5	2	0,33333333
Solución B	0,5	X	0,5	2	0,33333333
Solución C	0,5	0,5	x	2	0,33333333
			suma	6	1
Accesibilidad	Solución A	Solución B	Solución C	E+1	Ponderación
Solución A	x	0,5	1	2,5	0,41666667
Solución B	0,5	X	1	2,5	0,41666667
Solución C	0	0	x	1	0,16666667
			suma	6	1
Precisión	Solución A	Solución B	Solución C	E+1	Ponderación
Solución A	x	0,5	0,5	2	0,33333333
Solución B	0,5	x	0,5	2	0,33333333
Solución C	0,5	0,5	x	2	0,33333333
			suma	6	1
Sujeción	Solución A	Solución B	Solución C	E+1	Ponderación
Solución A	x	0	1	2	0,33333333
Solución B	1	x	1	3	0,5
Solución C	0	0	x	1	0,16666667
			suma	6	1

En cuanto a elección de electrodos, los resultados se encuentran expuestos en la tabla 8:

Tabla 8 Elección de los electrodos por método ponderado

Conclusión	precio	accesibilidad	precisión	sujección	sumatoria	prioridad
Solución A	0,1	0,05	0,025	0,0375	0,2125	3
Solución B	0,2	0,15	0,0625	0,075	0,4875	1
Solución C	0,1	0,1	0,0625	0,0375	0,3	2

Luego del análisis se eligió el brazalete inalámbrico MYO con ocho sensores ubicados en forma de un brazalete, el Myo es de bajo costo tomando en cuenta los beneficios que puede brindar y, además, la calidad de adquisición de señales es de alto nivel.

En cuanto a las alternativas en la selección del software, se obtuvo los siguientes resultados:

- Solución A: Labview.
- Solución B: Matlab.

Dando como resultado lo obtenido en la tabla 9:

Tabla 9 Resultados del análisis ponderado en Software.

Precio	Solución A	Solución B	E+1	Ponderación
Solución A	x	0	1	0,33333333
Solución B	1	x	2	0,66666667
		suma	3	1
Accesibilidad	Solución A	Solución B	E+1	Ponderación
Solución A	x	0,5	1,5	0,5
Solución B	0,5	x	1,5	0,5
		suma	3	1
Precisión	Solución A	Solución B	E+1	Ponderación
Solución A	x	0	1	0,33333333
Solución B	1	x	2	0,66666667
		Suma	3	1

Funcionalidad	Solución A	Solución B	E+1	Ponderación
Solución A	x	0	1	0,33333333
Solución B	0	x	1	0.33333333
		suma	2	0,66666

Y el resultado de la selección de software se muestra en la tabla 10:

Tabla 10 Elección de software por método ponderado

Conclusión	precio	accesibilidad	precisión	funcionalidad	sumatoria	prioridad
Solución A	0,133333333	0,15	0,05	0,05	0,383333333	2
Solución B	0,266666667	0,15	0,1	0,1	0,616666667	1

En cuanto a la selección del software de adquisición de señales, se va a utilizar Matlab debido a que es un programa robusto, accesible y tiene muchos estudios realizados en el entorno de las señales electromiográficas.

Por lo tanto, el trabajo de identificación de intención de movimiento se realizará en el software Matlab, con los sensores presentes en brazalete Myo.

2.4 Brazalete electromiográfico no invasivo (Myo)

El brazalete Myo es un dispositivo portátil capaz de conectarse a otros diversos dispositivos a través de su propio adaptador bluetooth USB. El brazalete fue diseñado con el fin de, a partir de movimientos y gestos 7 con la mano, permitir el control en teléfonos, computadoras, juegos, entre otros. [15]

Posee sensores mioeléctricos de acero inoxidable de grado médico, IMU de nueve ejes de alta sensibilidad que contiene giroscopio de tres ejes, acelerómetro de tres ejes y magnetómetro de tres ejes. Brinda facilidad de obtención de datos digitalizados mediante la conexión a un ordenador Windows o Mac, a través de su adaptador Bluetooth USB incluido, además de dispositivo iOS o Android con una conexión Bluetooth 4.0 de bajo consumo de energía.

En cuanto a sus dimensiones, es un brazalete ampliable de 19 a 34 cm, con un peso de 93 gr. Y un espesor de aproximadamente 1,14 cm. Lo que permite que sea un dispositivo portátil, fácil de llevar sin ejercer esfuerzo alguno. El brazalete Myo y sus componentes externos se muestran en la figura 6. [15]

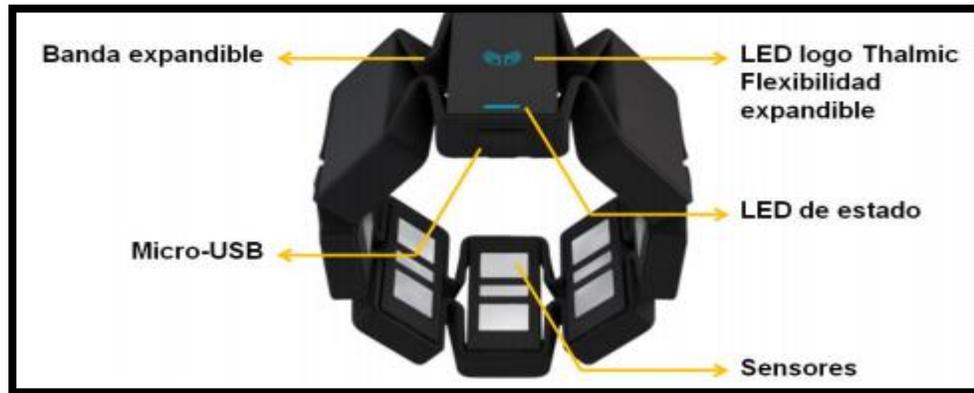


Figura 6 Partes del brazalete MYO.

Y en cuestión de hardware Myo está constituido de lo siguiente:

- 8 sensores médicos EMG (frecuencia de muestreo de 200Hz).
- Una UMI de alta sensibilidad de 9 ejes (frecuencia de muestreo de 50Hz)
- Un giroscopio de tres ejes
- Un acelerómetro de tres ejes
- Un magnetómetro de tres ejes
- Un indicador LED
- Un procesador ARM Conex M4 de 1200MHz,
- Retroalimentación háptica (vibración).
- Una batería recargable de litio
- Conexión bluetooth inteligente.

En la figura 7, se observa la manera correcta de como colocar el brazalete en el brazo, además de la numeración de los electrodos presentes en el mismo.

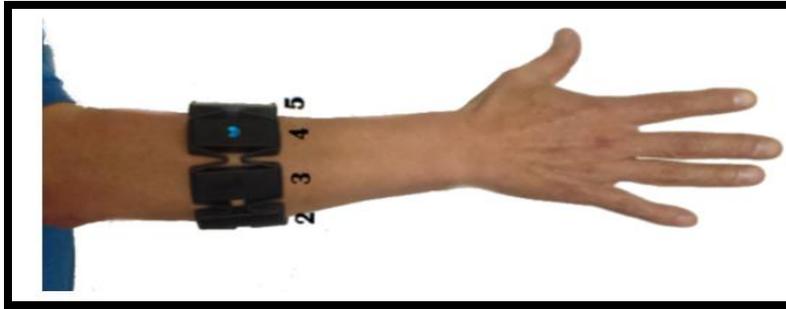


Figura 7 Ubicación del dispositivo sobre el antebrazo.

De la misma manera en la tabla 11, se observa la relación que existe entre los músculos del brazo y lo electrodos del brazalete que actúan sobre los mismos. [16]

Tabla 11 Músculos sobre los cuales se poseionan los electrodos del Myo.

Músculo	Acción	Sensores Myo
Braquiorradial	Flexiona el antebrazo a la altura del codo	4-5
Extensor radial largo del carpo	Extensión y abducción de la muñeca	1
Pronador redondo	Prona y flexiona el antebrazo	3
Flexor radial del carpo	Flexión y abducción radial de la mano	2
Palmar largo	Flexión de muñeca con desviación radial	7
Músculo	Acción	Sensores Myo
Flexor superficial de los dedos	Flexiona la muñeca, flexiona las falanges media y proximal de los dedos 2-5	3-4
Flexor cubital del carpo	Flexiona la muñeca y abduce el carpo	8

2.5 Adquisición y procesamiento de la señal electromiográfica

Para el proceso adquisición de señales se realizó mediante una interfaz de adquisición de señales, aplicando pasos para el proceso de caracterización, que se pueden revisar en el diagrama expuesto de la figura 9.

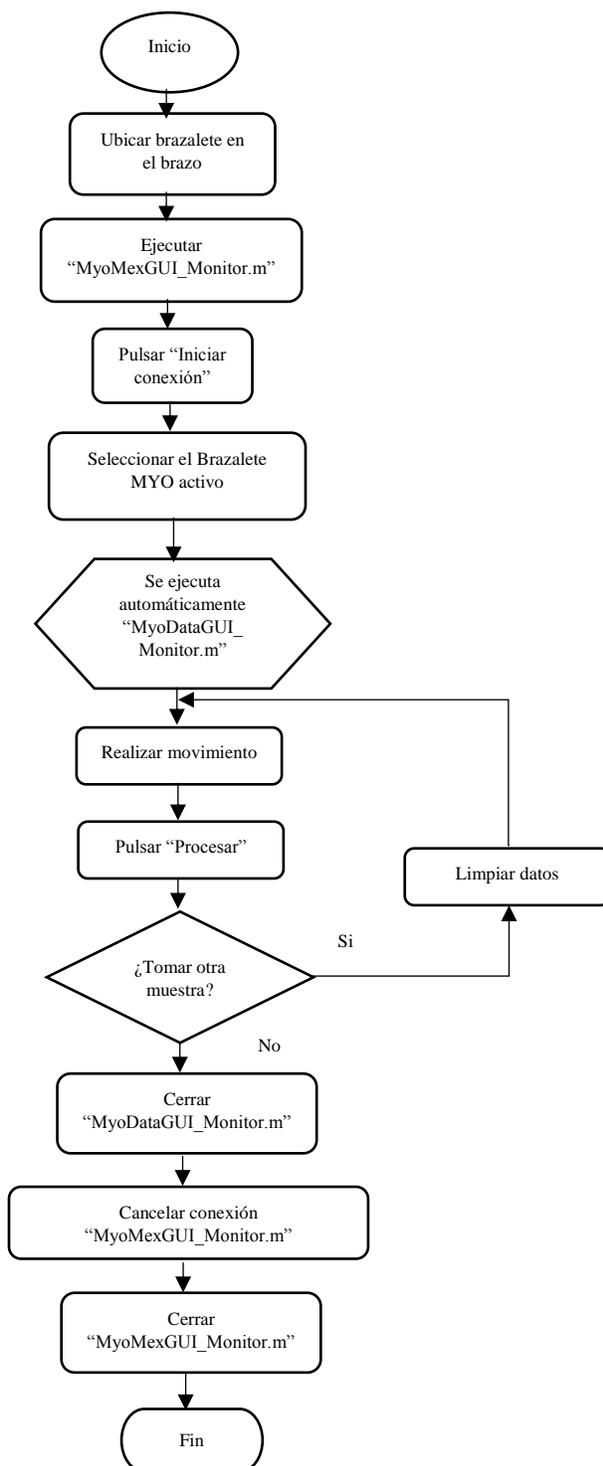


Figura 9. Diagrama funcional de la adquisición de señales EMG.

La adquisición básica de datos EMG y de posición se realiza en Matlab, utilizando el paquete Myo SDK MATLAB MEX Wrapper de Mark Tomaszewski [18], el cual puede transmitir los datos del Myo a la frecuencia del dispositivo, 200 Hz (EMG) y 50 Hz (IMU) y una amplitud de señal de 0 a 150 μ V. [17]

Tras la correcta colocación basados en la Figura 10, este paquete acumula el flujo de datos en la propiedad myoData, así mismo registra propiedades del giroscopio, acelerómetro y las señales EMG de los ocho electrodos bipolares del MYO superpuestos en tiempo real, teniendo la posibilidad de acceder a estos datos en cualquier momento y mostrando los datos acumulados actuales. [16]

2.6 Interfaz De Usuario

Para la adquisición y procesamiento de los datos de las señales obtenidas es necesario realizar una interfaz de usuario la cual nos permita realizar y observar cómo se lleva a cabo todo el proceso.

La interfaz consta de dos ventanas, la primera es de conexión entre la computadora y el brazalete observado en la figura 8, la cual tiene un botón de inicio y cancelación de la conexión.



Figura 8 Interfaz de conexión (computador - brazalete)

La segunda interfaz mostrada en la figura 9 se ejecuta automáticamente luego de que se establece la comunicación, la cual contiene 8 graficas correspondientes a cada electrodo del brazalete, una gráfica en tiempo real de las 8 señales, gracias a que el brazalete dispone de un acelerómetro también existe una gráfica que nos permite observar la posición del brazo en ese instante, esta interfaz adquiere las señales de los 8 canales del brazalete.

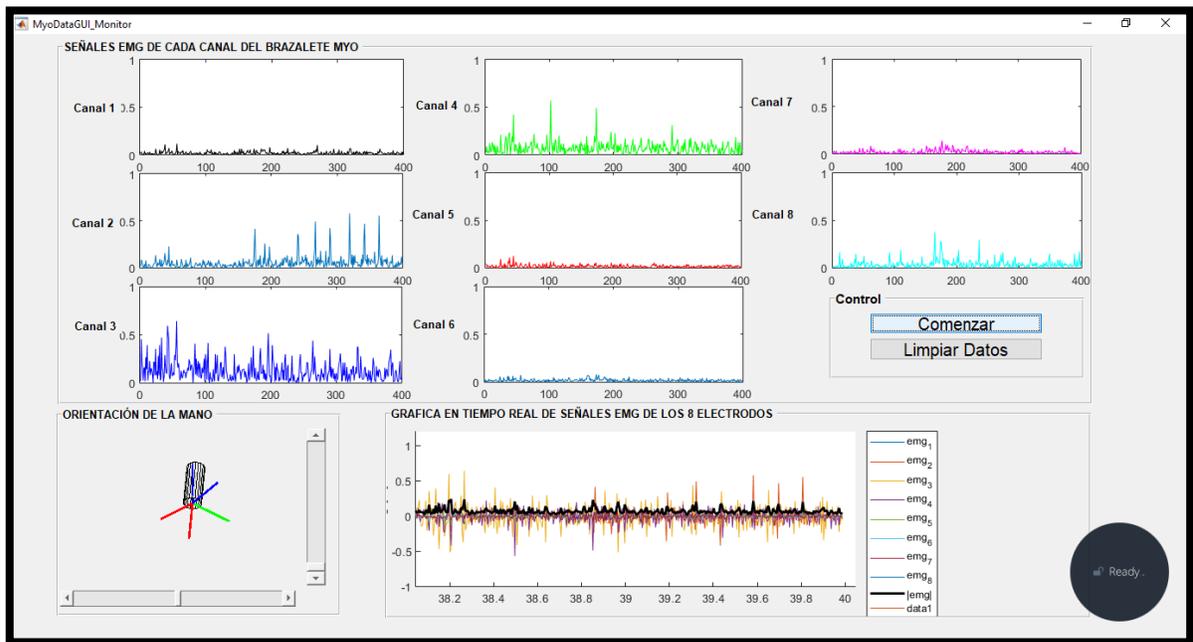


Figura 9 Interfaz de adquisición de datos

El funcionamiento de la interfaz se encuentra detallado en el Anexo A. El diagrama de flujo del funcionamiento de las mismas se explica en la figura 10.

La toma de datos se realizó, siguiendo el protocolo descrito por el fabricante del brazalete, en cuanto a la colocación del mismo. Se tomaron 100 muestras por cada dedo, con un intervalo de descanso de 2 minutos cada 10 muestras, en la mañana, con el fin de que el paciente se encuentre relajado.

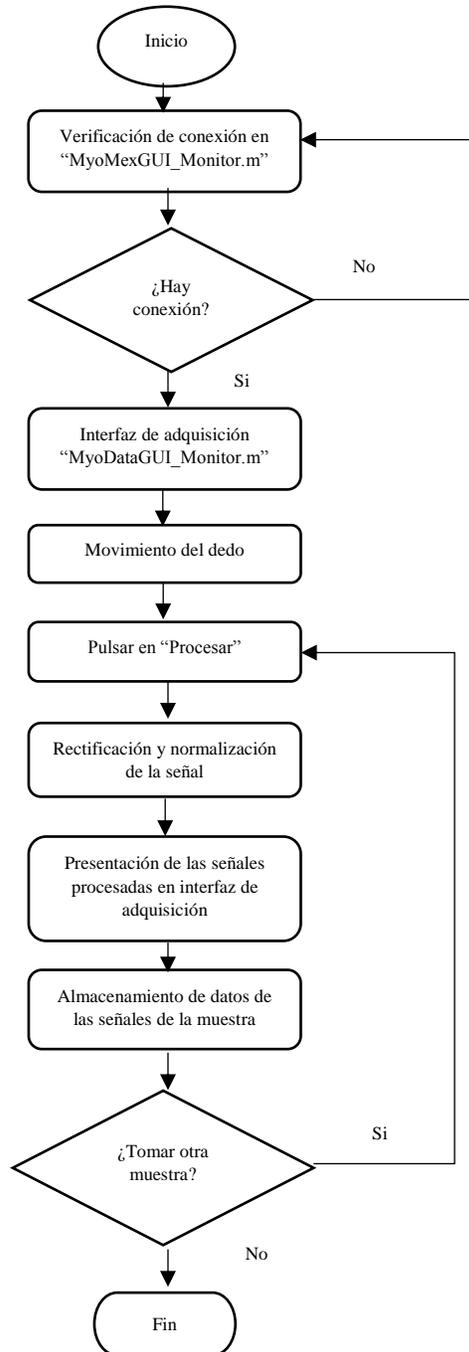


Figura 10 Diagrama de flujo del funcionamiento de la Interfaz.

2.7 Caracterización De Señales Emg.

En trabajos previos para el reconocimiento de patrones se utilizaron 11 características basadas en tiempo y frecuencia, las cuales se describen en la tabla 12 [18]:

Tabla 12 Características basadas en el análisis del dominio del tiempo y frecuencia

Basadas en el tiempo			
	Nombre Característica	Definición Característica	Descripción.
1	Integración del valor absoluto de la señal EMG	$EMG = \sum_{k=1}^N emg_k $	Relacionada con la actividad muscular.
2	Valor absoluto medio de la señal	$MAV = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N emg_k $	Relacionada a los puntos de contracción muscular.
3	Raíz cuadrada media de la señal	$RMS = \left(\sqrt{\sum_{k=1}^N emg_k^2 } \right) / N$	Relacionado con la indicación de contracción muscular con fuerza constante antes de comenzar la fatiga muscular.
4	Longitud de onda de la señal	$WL = \sum_{k=1}^{N-1} emg_{k+1} - emg_k $	-
5	Integral cuadrada simple de la señal	$SSI = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N emg_k^2 $	Una indicación de la energía de la señal,
6	Varianza de la señal	$VAR = \frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^N emg_k^2 $	Relacionado con la potencia de señal
Basadas en el tiempo			
	Nombre Característica	Definición Característica	Descripción.
7	Cambios de signo de la señal	$SSC = \sum_{k=1}^N sga(emg_k - emg_{k-1})$ $sga(x) = \begin{cases} 1 & * (emg_k - emg_{k+1}) \\ & \text{si } x > 0 \\ 0 & \text{caso contrario} \end{cases}$	Cuantifica el número de veces que la pendiente de la señal cambia de signo

	Nombre Característica	Definición Característica	Descripción.
8	Amplitud de señal Wilson	$WAMP = \sum_{k=1}^N f(emg_k - emg_{k+1})$ $f(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } x > \text{limite} \\ 0 & \text{caso contrario} \end{cases}$	Una indicación del potencial de acción de la unidad nacional y, por tanto, del nivel de contracción muscular.
Basadas en la Frecuencia			
	Nombre Característica	Definición Característica	Descripción.
9	Energía de la señal	$E_x = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) ^2 dt$ $= \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot x(t) dt$	Cuantifica la energía generada por la señal.
10	Transformada discreta de Fourier	$FFT = Y(K) = T_s \sum_{n=0}^{R-1} x(n) e^{\frac{j2\pi Kn}{R}}$ $= Re[(Y(K)] + jIm[Y(K)], \forall 0 \leq K \leq R - 1$	Estima el periodograma
11	Densidad del espectro de potencia	$PSD(f) = TF\{R_{xx}(\tau)\}$ $= \int_{-\infty}^{\infty} R_{xx}(\tau) e^{-2\pi i f \tau} d\tau$	Sirve como parámetro para extraer la potencia de la señal.

Los algoritmos computacionales basados en la definición de estas características se encuentran en un trabajo realizado previamente, en este caso nos valdremos de ese estudio para analizar las características de los 8 canales. En la tabla 13 se muestra los valores de dichas características con el movimiento de flexión interfalángica del dedo pulgar.

Tabla 13 Valor de las características crudas de la flexión interfalángica del pulgar.

	Flexión interfalángica del pulgar							
	Brazalete MYO							
	Canal 1	Canal 2	Canal 3	Canal 4	Canal 5	Canal 6	Canal 7	Canal 8
EMG	9,203	13,266	17,023	5,531	4,742	5,289	4,961	9,570
MAV	0,003	0,005	0,009	0,001	0,000	0,001	0,001	0,003
RMS	0,023	0,033	0,043	0,014	0,012	0,013	0,012	0,024
VAR	0,003	0,004	0,007	0,001	0,001	0,001	0,001	0,003
WL	0,023	0,033	0,043	0,014	0,012	0,013	0,012	0,024
SSC	0,039	0,051	0,067	0,018	0,016	0,019	0,017	0,040
WAMP	0,617	1,026	1,821	0,133	0,099	0,144	0,114	0,643
SSI	0,001	0,001	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
ENERGIA	8,328	11,961	12,945	4,844	4,172	4,195	4,172	8,805
FFT	108	155	131	74	69	60	55	108
PSD	207	267	252	167	150	139	133	206

Posterior a esto, los valores obtenidos entran a un proceso de normalización debido a que se necesita comprobar si las características de la señal EMG permiten identificar el movimiento de cada uno de los dedos, para esto, se utiliza una comprobación analizando los grupos de datos de la gráfica de las características en 3 dimensiones.

Mediante el software Matlab, luego de haber obtenido todas las características por movimiento, las procesamos de una manera gráfica, con el fin de saber, qué combinación de característica y canal del brazalete, nos brindaba una mejor apreciación en cuanto a separación de datos entre cada dedo. Obteniendo como resultado que las características de Energía, Amplitud de Wilson e integral de la señal, de los canales 1,2 y 8 respectivamente son las que, de acuerdo a la separabilidad de clases, la mejor combinación para el algoritmo de clasificación ofrecía, mismo que se muestra en la figura 11.

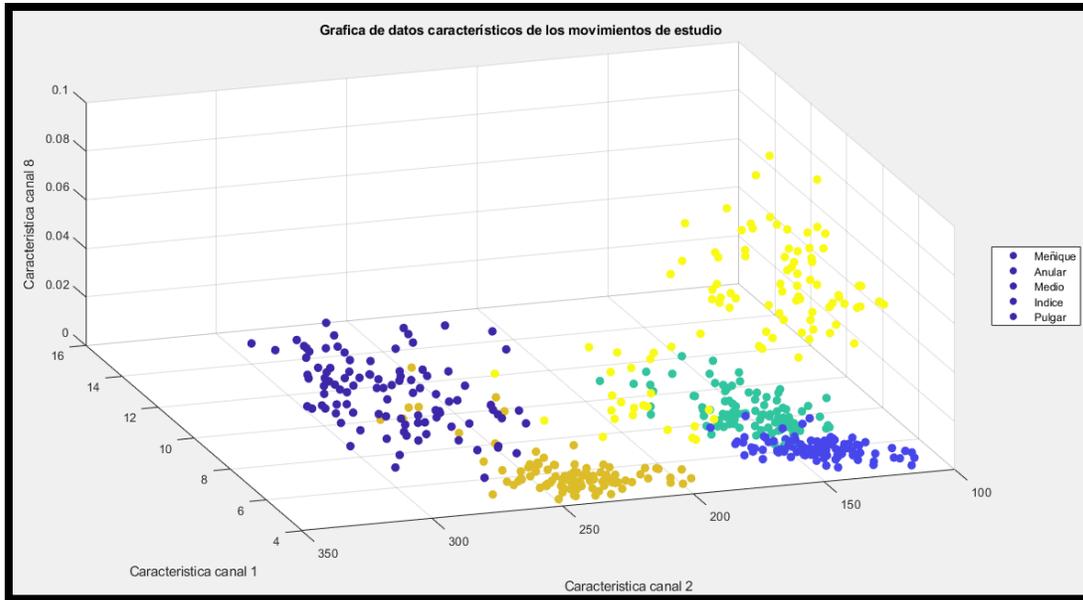


Figura 11 Características: Energía, Amplitud de Wilson, integral de la señal, de los canales 1,2 y 8 respectivamente.

Estas características se someterán al proceso de clasificación, en el desarrollo de la máquina de soporte vectorial.

2.8 Implementación de un algoritmo de machine learning para la clasificación de los movimientos de cada dedo la mano.

Una vez obtenidas las características de cada una de las señales adquiridas de los movimientos de estudio, se procede a la creación de la máquina de soporte vectorial que permitirá la clasificación de los de los movimientos de los dedos, los cuales son:

- Flexión y extensión dedo meñique
- Flexión y extensión dedo anular
- Flexión y extensión dedo medio
- Flexión y extensión dedo índice
- Flexión y extensión dedo pulgar

Para la realización del algoritmo de clasificación se realizaron dos tomas de datos de 100 muestras cada una.

Designando un cierto tipo de validación se probará el algoritmo, determinado los porcentajes de uso de la matriz de características, se entabla una matriz de 88 datos de análisis que ingresaran a la MSV (Máquina de Soporte Vectorial).

2.9 Máquina de soporte vectorial

Se utiliza Matlab para el diseño de un programa que entrene, pruebe y valide la MSV, misma que puede configurarse de varias maneras como se muestra en la tabla 14:

Tabla 14 Configuración de una máquina de soporte vectorial

Configuración de una MSV	Método de análisis	One vs one
		One vs all
	Función kernel	Polinomial
		Lineal
		Gaussiana
	Escala kernel	Automática
		Manual

Los datos de entrenamiento y prueba utilizados para el algoritmo de machine learning están organizados como se puede observar en la tabla 15.

Tabla 15 Entrenamiento y prueba

		88 columnas							
		11 características Canal 1	11 características Canal 2	11 características Canal 3	11 características Canal 4	11 características Canal 5	11 características Canal 6	11 características Canal 7	11 características Canal 8
500 filas	Flexión Meñique (100)								
	Flexión anular (100)								
	Flexión medio (100)								
	Flexión Índice (100)								
	Flexión Pulgar (100)								

- La salida se codifica de acuerdo con la tabla 16:

Tabla 16 Datos de salida

MOVIMIENTO	SALIDA
Flexión meñique	1
Flexión anular	2
Flexión medio	3
Flexión índice	4
Flexión pulgar	5

III. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Pruebas de conexión con el brazalete

Luego de seguir los pasos de instalación y conexión del brazalete con la computadora descritos en el Anexo 1, se procede a ejecutar la interfaz y adquirir las señales del movimiento de los dedos, para comprobar el correcto funcionamiento.

Cuando el siguiente recuadro que se muestra en la figura 12 de la interfaz se activa, quiere decir que la conexión se realizó exitosamente.



Figura 12 Interfaz con la conexión exitosa.

3.2 Pruebas de Adquisición de señales EMG

La adquisición de señales se realizó mediante la interfaz previamente descrita, al momento de dar clic en el recuadro “Procesar”, este automáticamente nos genera un vector de 8 columnas y 400 filas el cual refleja los datos obtenidos de los 8 sensores del brazalete en ese instante y su nombre se registra con la hora y fecha en la cual fue creado, reflejado en la tabla 17.

Tabla 17 Adquisición de datos.

	8 columnas referentes a cada canal de brazalete							
	Canal 1	Canal 2	Canal 3	Canal 4	Canal 5	Canal 6	Canal 7	Canal 8
400 datos por muestra obtenida								

Para el presente trabajo se realizó una base de datos de 100 muestras de flexión y 100 de extensión por cada dedo. Para su posterior procesamiento.



a)

b)

Figura 13 Vista lateral (a) y vista inferior (b) del movimiento de flexión interfalángica del dedo índice.

Al realizar el movimiento de flexión interfalángica del dedo índice figura 13, y procesar las señales obtenidas por los distintos canales del brazalete se observa en la interfaz el resultado reflejado en la figura 14. Lo que refleja una mayor activación en los canales 1,2,3.

Además, en el panel de “Orientación de la Mano”, se observa que el brazo se mantenga en una posición de reposo (plana) en el momento de la toma de datos, con el fin de obtener los mismos de una forma correcta.

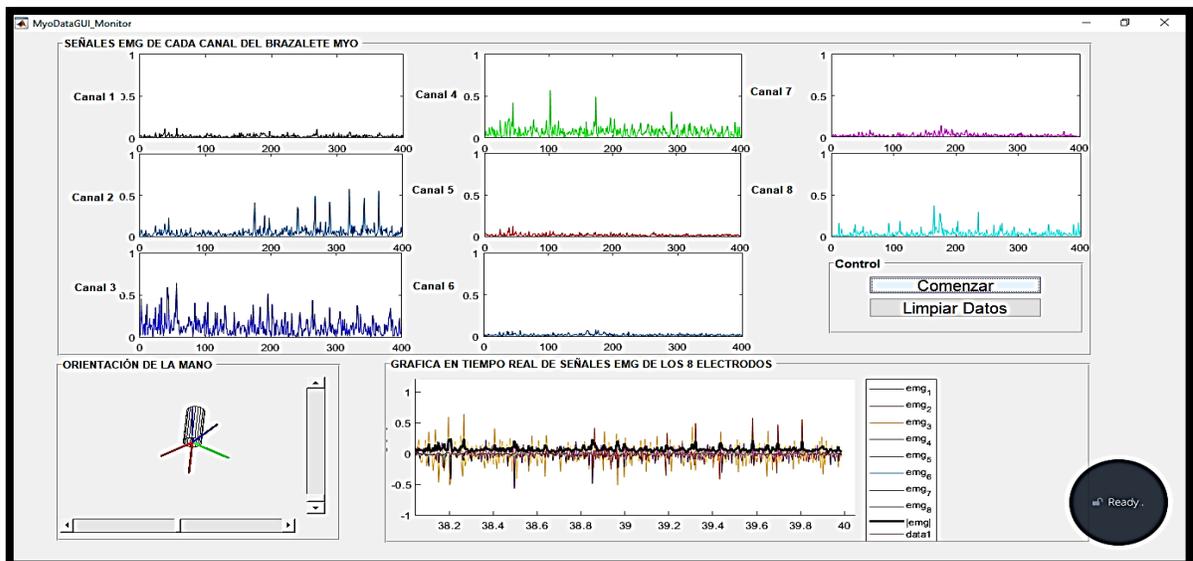


Figura 14 Visualización de las señales obtenidos de la flexión interfalángica del dedo índice.

3.3 Selección de características y visualización

Tomando como punto de partida el estudio realizado en [22], utilizamos para el procesamiento de nuestras señales, las 11 características descritas en el capítulo de metodología sección 7.

Estas se procesaron en conjunto con la base de datos creada anteriormente, de la cual se extrajo como resultado una matriz de 88 columnas y 100 filas por cada dedo y movimiento realizado, perteneciendo 11 columnas a cada característica por canal del brazalete

El almacenamiento de los datos obtenidos tras el proceso de extracción de características permitió determinar el comportamiento de cada uno de los canales de estudio a un determinado movimiento, obteniendo graficas representativas a cada intensidad de movimiento realizado que gráficamente se observan de la siguiente manera:

- Flexión Pulgar

En la figura 15 se expone la gráfica de las 11 características del movimiento de flexión interfalángica del dedo pulgar, observando mayor activación en los canales 8, 2, 1.

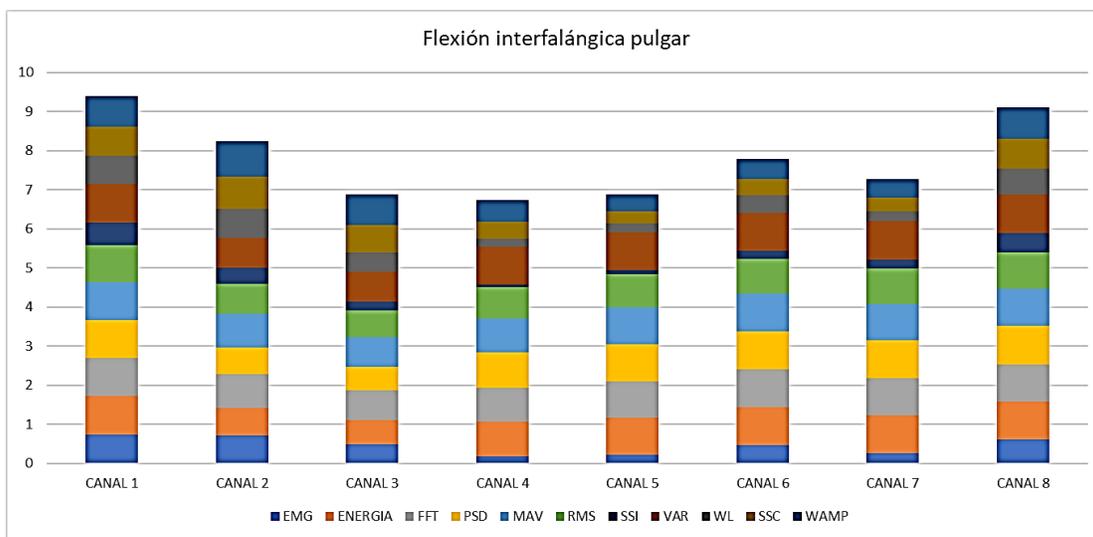


Figura 15 Representación de las 11 características referente a la flexión interfalángica del dedo pulgar

- Flexión Meñique

En la figura 16 se expone la gráfica de las 11 características del movimiento de flexión interfalángica del dedo meñique, observando mayor activación en los canales 4,3 y 2.

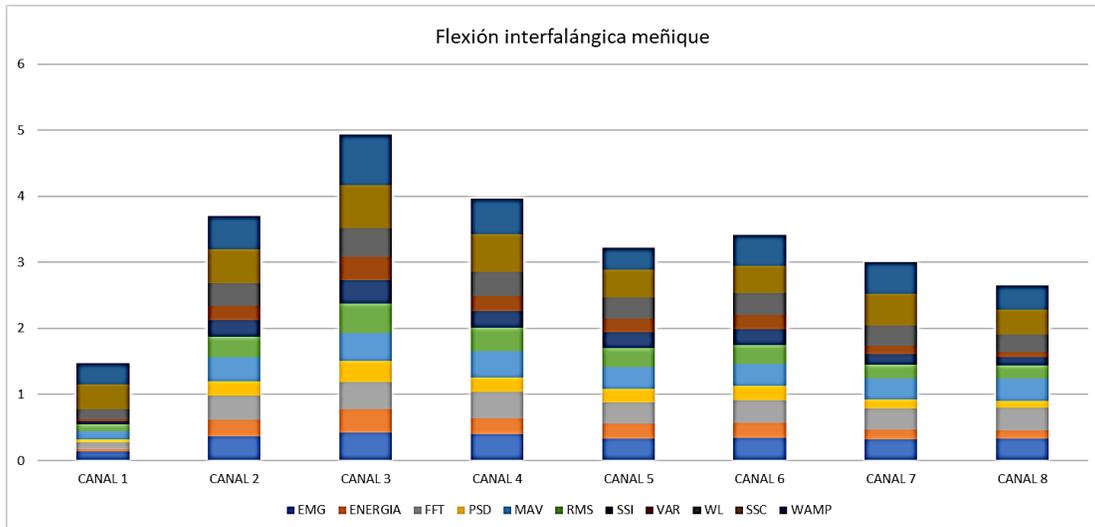


Figura 16 Representación de las 11 características referente a la flexión interfalángica del dedo meñique.

- Flexión Medio

En la figura 17 se expone la gráfica de las 11 características del movimiento de flexión interfalángica del dedo medio, observando mayor activación en los canales 5, 3, 2.

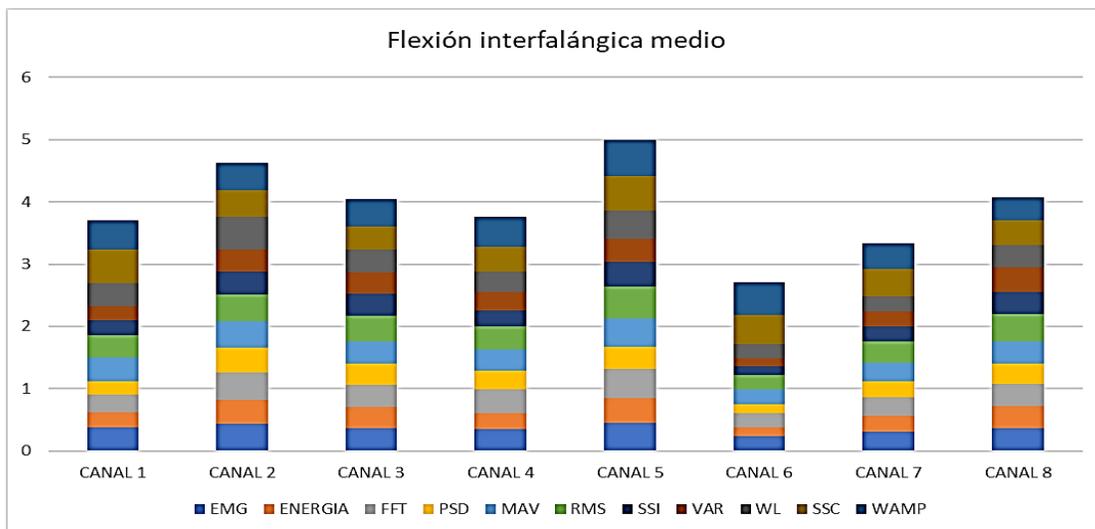


Figura 17 Representación de las 11 características referente a la flexión interfalángica del dedo medio.

- Flexión Índice

En la figura 18 se expone la gráfica de las 11 características del movimiento de flexión interfalángica del dedo índice, observando mayor activación en los canales 7, 5, 4.

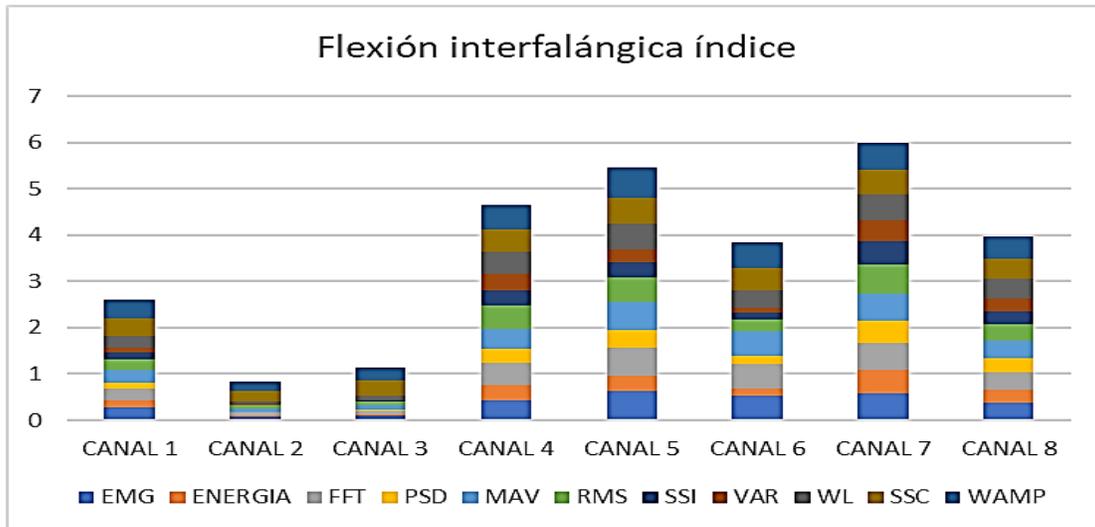


Figura 18 Representación de las 11 características referente a la flexión interfalángica del dedo índice.

- Flexión Anular

En la figura 19 se expone la gráfica de las 11 características del movimiento de flexión interfalángica del dedo pulgar, observando mayor activación en los canales 8, 5 y 4.

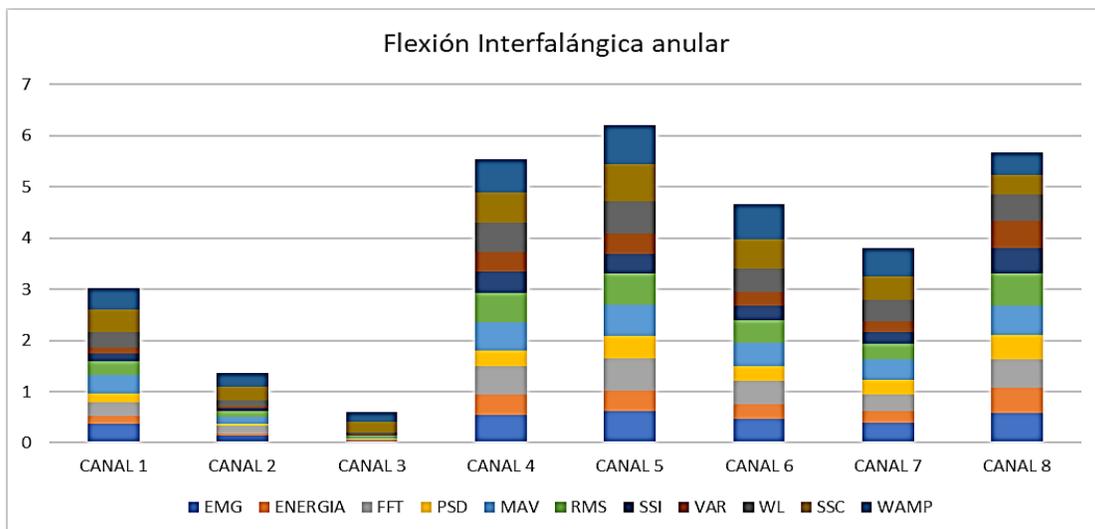


Figura 19 Representación de las 11 características referente a la flexión interfalángica del dedo anular.

- Extensión Pulgar

En la figura 20 se expone la gráfica de las 11 características del movimiento de extensión interfalángica del dedo pulgar, observando mayor activación en los canales 3, 2 y 1.

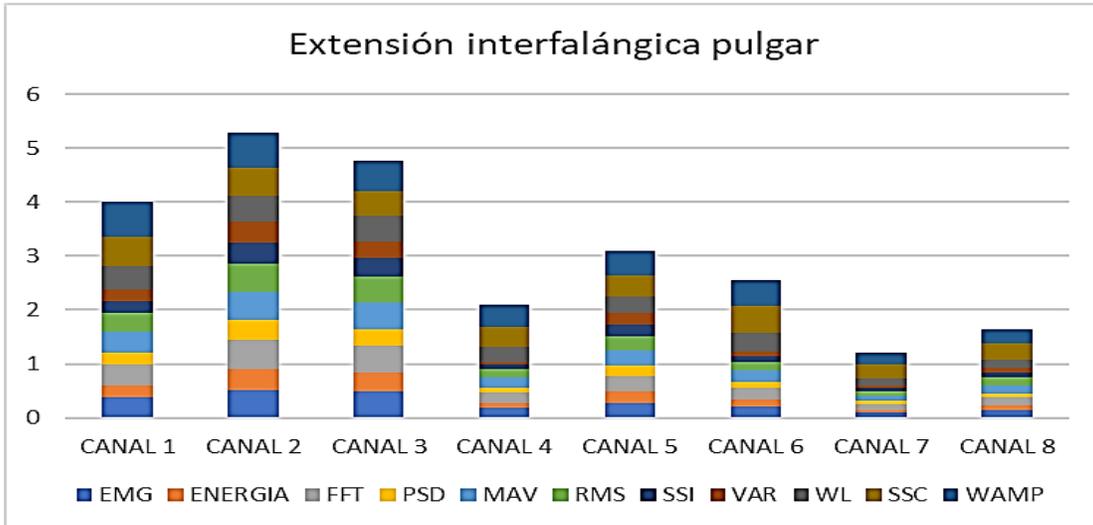


Figura 20 Representación de las 11 características referente a la extensión interfalángica del dedo pulgar.

- Extensión Meñique

En la figura 21 se expone la gráfica de las 11 características del movimiento de extensión interfalángica del dedo meñique, observando mayor activación en los canales 8, 3, 2.

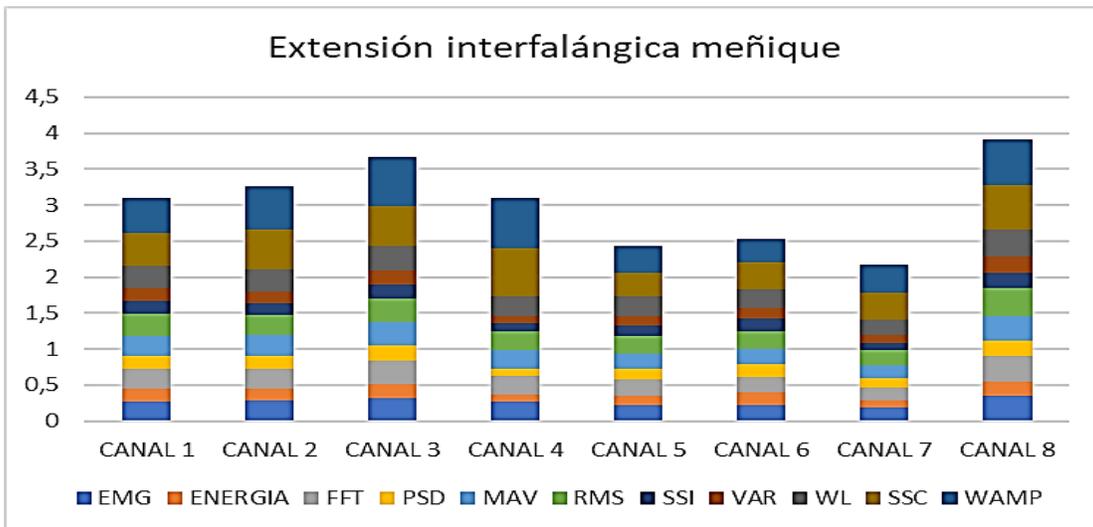


Figura 21 Representación de las 11 características referente a la extensión interfalángica del dedo meñique.

- Extensión Medio

En la figura 22 se expone la gráfica de las 11 características del movimiento de extensión interfalángica del dedo medio, observando mayor activación en los canales 8,3 y 2.

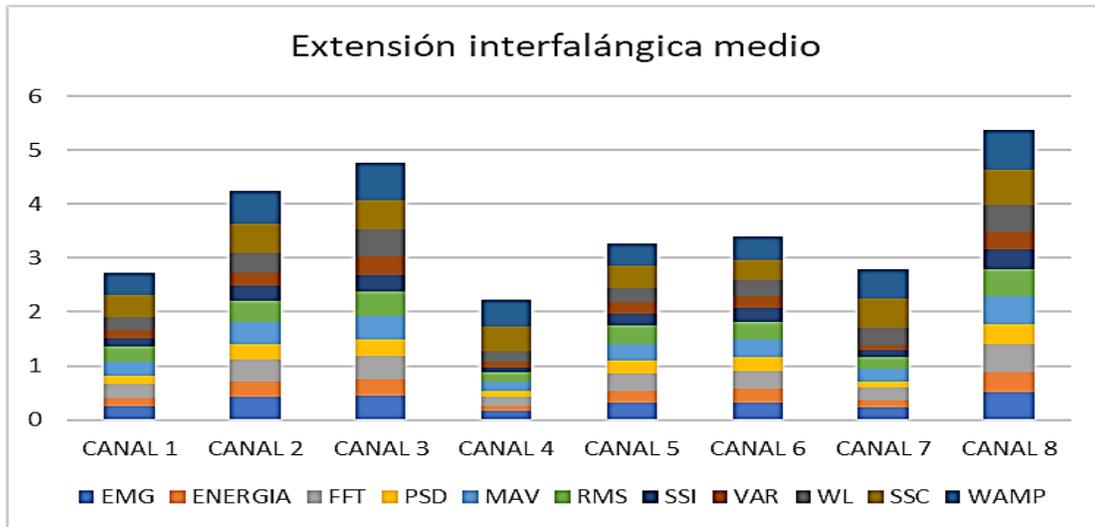


Figura 22 Representación de las 11 características referente a la extensión interfalángica del dedo medio.

- Extensión Índice

En la figura 23 se expone la gráfica de las 11 características del movimiento de extensión interfalángica del dedo índice, observando mayor activación en los canales 8,3 y 1.

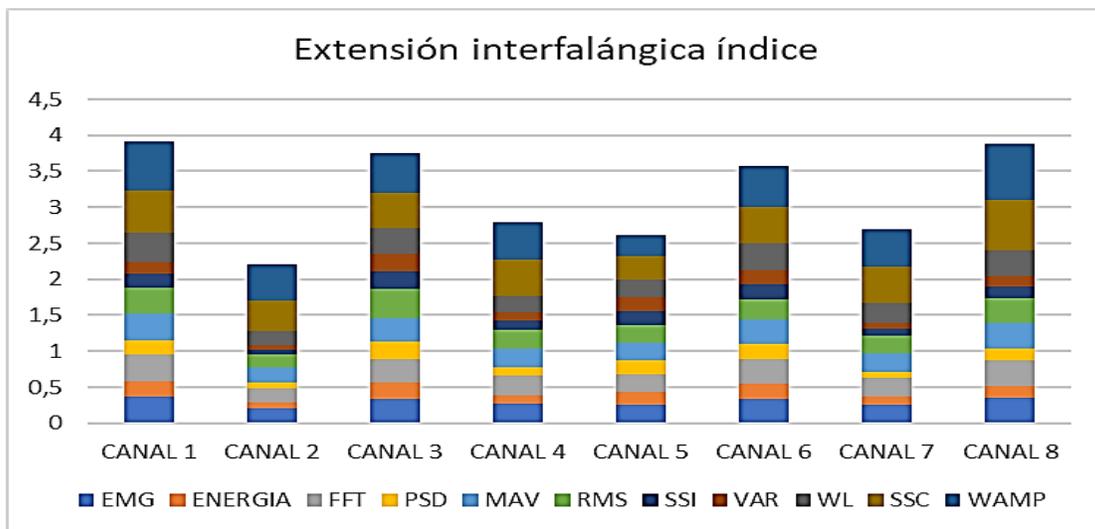


Figura 23 Representación de las 11 características referente a la extensión interfalángica del dedo índice.

- Extensión Anular

En la figura 24 se expone la gráfica de las 11 características del movimiento de extensión interfalángica del dedo anular, observando mayor activación en los canales 8, 4, 3.

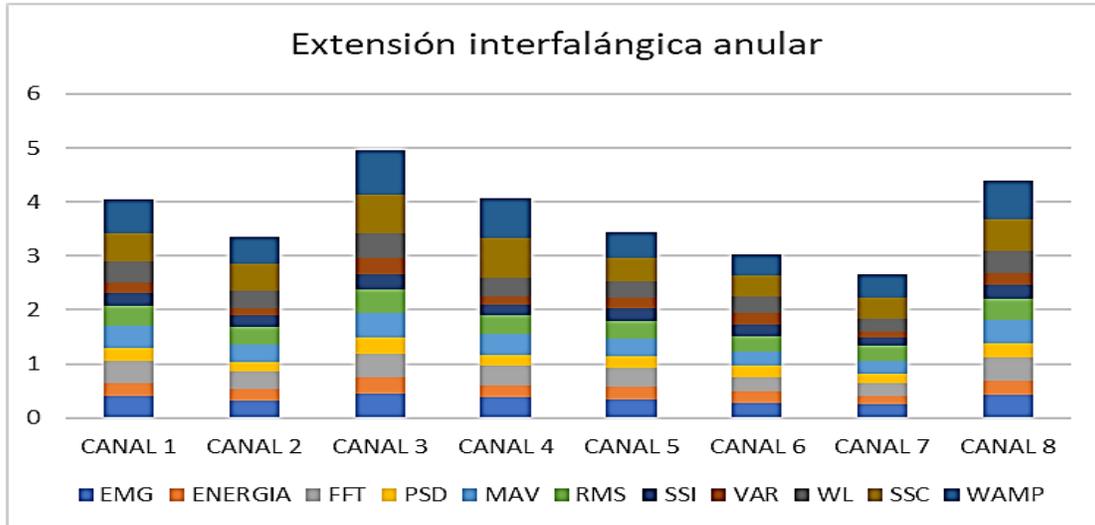


Figura 24 Representación de las 11 características referente a la extensión interfalángica del dedo anular.

Las gráficas muestran de una manera visual, la activación total, media o baja de cada canal con respecto al movimiento realizado, todo esto lo podemos observar de una manera resumida en la tabla 18.

En cada una de las gráficas mostradas anteriormente, se puede evidenciar el comportamiento característico hacia cada uno de los movimientos de estudio, pues estos resultados validan lo descrito durante el proceso de adquisición, en donde se determina, cual es el canal de acción principal a un determinado movimiento.

En la tabla 18 se expone un criterio de valoración, que va desde 0 (actividad baja), 1 (actividad media) y 2 (actividad alta), el cual se realizó tomando en cuenta los gráficos mostrados previamente y utilizando un criterio visual de la gráfica de resultado.

Tabla 18 Resumen de los canales que intervienen en cada movimiento.

Dedo	Canal 1	Canal 2	Canal 3	Canal 4	Canal 5	Canal 6	Canal 7	Canal 8
Meñique	1	2	2	2	1	0	0	2
Anular	2	1	2	2	2	0	2	2
Medio	0	2	2	2	2	1	1	1
Índice	0	0	1	2	2	1	2	1
Pulgar	2	2	1	1	0	0	0	2

Actividad	Valoración
Alta	2
Media	1
Baja	0

Posterior a esto, se procede a realizar un análisis entre los movimientos previamente estudiados, los sensores del brazalete que más influyen y los músculos en los cuáles se poseionan dichos sensores, ver Tabla 19.

Tabla 19 Relación entre músculos, canales del sensor y movimiento de estudio.

DEDO	SENSORES MYO EN CADA MOVIMIENTO		MÚSCULOS RELACIONADOS
	EXTENSIÓN	FLEXIÓN	
Meñique	8-4-3-2	4-3-2	Flexor superficial de los dedos
Anular	8-4-3	8-5-4	Braquiorradial - flexor cubital del carpo
Medio	8-3-2	5-3-2	Braquiorradial
Índice	8-3-1	7-5-4	Braquiorradial - flexor cubital del carpo - palmar largo
Pulgar	3-2-1	8-2-1	Extensor radial largo del carpo - flexor radial del carpo

Para poder diferenciar entre la extensión del dedo meñique y dedo medio, se es necesario utilizar otro canal de estudio, para visualizar un cambio entre ambos movimientos, en este caso, se observa que en el meñique el canal 4, influye más en el movimiento, que en el medio.

3.4 Validación de las señales obtenidas.

Para cumplir con el método científico, se necesita comprobar y validar las señales obtenidas. Para esto se ha elegido un sistema basado en [22] el cual nos permite leer las señales por medio de 4 canales de estudio.

El movimiento elegido para este procedimiento fue el de flexión interfalángica del dedo medio mismo que está representado en la figura 21. Para la comprobación se empezó colocando los electrodos de prueba en las mismas posiciones de los electrodos del brazalete en el brazo, debido a que solo se usan 4 canales y el brazalete utiliza 8, se procedió a realizar otra toma de datos, con los electrodos de las posiciones sobrantes, lo cual se describe en la figura 25.

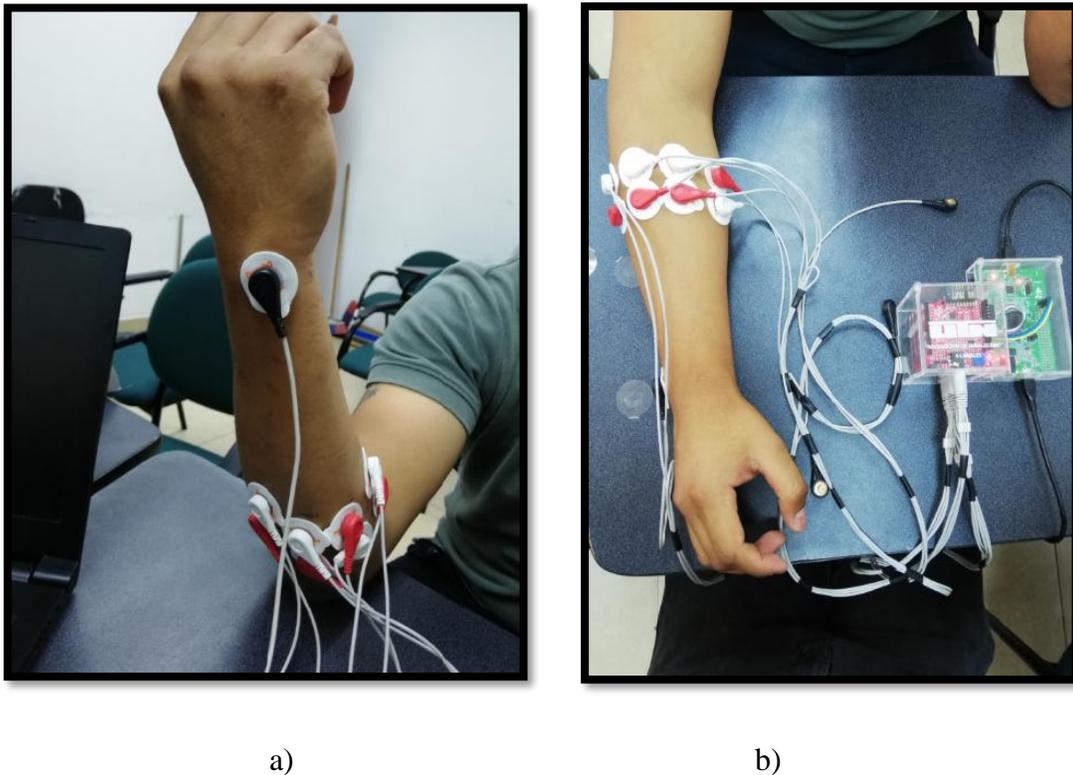


Figura 25 Ubicación de los sensores de prueba en relación con la posición de los electrodos del brazalete Myo

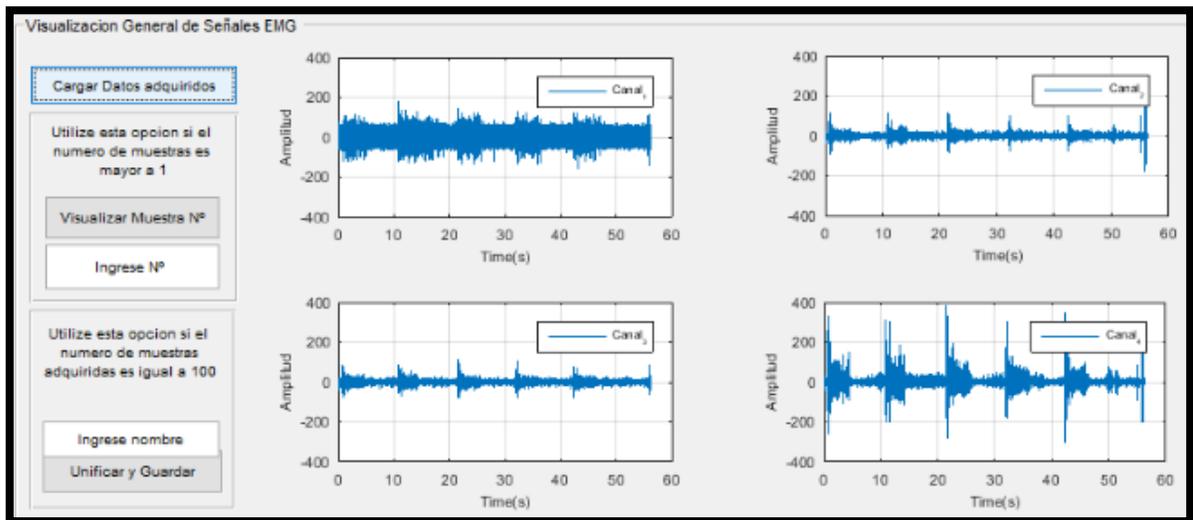
Para las dos tomas de datos, se colocó los electrodos de prueba de la forma que se explica en la tabla 20:

Tabla 20 Relación de posición entre los canales de prueba y el brazalete Myo

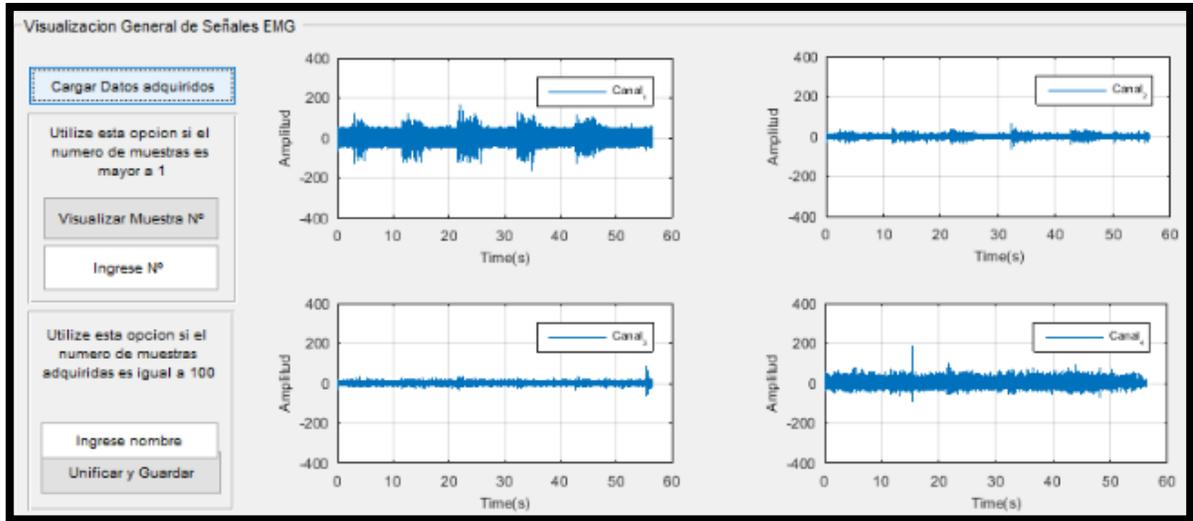
Canal Myo	1	2	3	4	5	6	7	8
Electrodos prueba 1	2	1	-	-	-	-	3	4
Electrodos prueba 2	-	-	1	2	3	4	-	-

Al realizar las tomas de datos se pudo evidenciar activacion en los canales del dispositivo de prueba, que corresponden a los mismos canales que se activan con el brazalete en dicho movimiento.

La activacion de los canales en el dispositivo de prueba se observa en la figura 26, la cual ademas, tambien nos muestra los periodos de descanso y contracción de los musculos en cada muestra evidenciando la activación en mayor o menor proporcion de cada canal.



a)



b)

Figura 26 a) Resultado por canal del dispositivo de prueba 1 y b) Resultado por canal del dispositivo de prueba 2

Para poder continuar con la comprobación, se extrae las características de los 5 movimientos realizados, obteniendo así un valor promedio de cada característica como se observa en la tabla 21, luego, este valor resultante será el que se compare con los resultados obtenidos por el brazalete, cabe recalcar que para este procedimiento se normalizaron los valores para obtener mejores resultados.

Tabla 21 a) Características del canal 1 en la prueba 1 y b) Características del canal 1 en la prueba 2

	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5	Promedio
EMG	74303,100	204063,000	117754,000	390304,000	393921,000	236069,020
MAV	28,556	31,955	32,865	32,528	33,839	31,949
RMS	32,741	36,254	37,230	38,852	36,236	36,263
VAR	256,531	293,270	306,021	299,967	316,896	294,537
WL	28574,400	75975,100	42546,900	144775	142993	86972,880
SSC	59	205	100	382	380	225
WAMP	732	2123	1174	4054	4121	2441
SSI	2,789	8,394	4,966	1,630	1,702	3,896
ENERGIA	2789,180	8391,570	4963,010	16294,900	17018,500	9891,432
FFT	28,556	31,955	32,865	32,528	33,839	31,949
PSD	2785,560	8252,750	4978,290	16263,200	17113,400	9878,640

a)

	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5	Promedio
EMG	118547,000	98742,100	125062,000	43597,600	57827,100	88755,160
MAV	28,942	24,760	27,644	22,543	23,440	25,466
RMS	37,292	31,647	35,445	28,372	29,967	32,545
VAR	553,037	388,502	492,176	296,767	348,561	415,809
WL	46947,000	38362,800	47132,000	18273	24474	35037,560
SSC	123	56	92	29	66	73,200
WAMP	1184	842	1109	399	578	822,400
SSI	5,696	3,994	5,683	1,556	2,215	3,829
ENERGIA	5696,260	3993,910	5683,660	1556,240	2215,370	3829,088
FFT	28,942	24,760	27,644	22,543	23,440	25,466
PSD	5946,170	3985,460	5765,130	1570,900	2199,160	3893,364

b)

Tomando en cuenta la tabla 11, la relación entre los movimientos de prueba y la posición de los electrodos de prueba con respecto a la posición de los electrodos del brazalete, usamos las características de un movimiento aleatorio de nuestra base de datos, del canal 2 y canal 3 del brazalete que corresponden al canal 1 en cada movimiento de prueba, dando como resultado lo expuesto en la tabla 22:

Tabla 22 Relación entre las características obtenidas mediante el brazalete y el dispositivo de prueba para el movimiento interfalángico del dedo medio

Características de señales EMG adquiridas	Brazalete MYO		Dispositivo De Prueba		Porcentaje de error en prueba 1	Porcentaje de error en Prueba 2
	Canal 2	Canal 3	Canal 1 Prueba 1 (Media - Normalizada)	Canal 3 Prueba 2 (Media - Normalizada)		
EMG	0,427	0,331	0,391	0,355	8%	7%
MAV	0,482	0,355	0,492	0,337	2%	5%
RMS	0,4	0,333	0,361	0,33	10%	1%
VAR	0,482	0,355	0,475	0,342	1%	4%
WL	0,477	0,401	0,464	0,345	3%	14%
SSC	0,424	0,336	0,428	0,34	1%	1%
WAMP	0,404	0,34	0,414	0,353	2%	4%
SSI	0,517	0,368	0,519	0,351	0%	5%
ENERGIA	0,431	0,356	0,43	0,346	0%	3%
FFT	0,438	0,45	0,424	0,45	3%	0%
PSD	0,427	0,331	0,391	0,355	8%	7%
Promedio error					3%	4%

Tomando en cuenta que la lectura de las señales por parte del dispositivo de prueba es de 0 a 10mV y las de lecturas del brazaletes se hacen de 0 a 150 μ V, se realiza un acondicionamiento de las señales para que se encuentren en los mismos rangos de voltaje.

Luego se realiza una normalización de todos los valores de las características obtenidos, tanto en el brazaletes, como en el dispositivo de prueba. Finalmente realizamos una diferencia entre los valores normalizados de las características de cada dispositivo Dando como resultado datos que se asemejan con lo obtenido en este presente estudio.

El mismo proceso se realizó para los otros 4 movimientos de flexión de los dedos meñique, anular, índice y pulgar, dándonos como resultado lo mostrado a continuación:

Tabla 23 Resultados de la validación para la flexión interfalángica del pulgar, índice, anular, meñique

Movimiento		IEMG	MAV	RMS	VAR	WL	SSC	WAMP	SSI	ENERGÍA	FFT	PSD	Error Promedio
Pulgar	Myo	0,580	0,527	0,606	0,436	0,613	0,447	0,517	0,304	0,570	0,527	0,536	
	Dispositivo	0,548	0,579	0,548	0,479	0,548	0,462	0,478	0,327	0,556	0,503	0,460	
	% error	6%	10%	10%	10%	11%	3%	8%	8%	2%	5%	14%	
Índice	Myo	0,573	0,479	0,594	0,522	0,563	0,528	0,561	0,503	0,552	0,433	0,691	
	Dispositivo	0,600	0,513	0,610	0,485	0,600	0,566	0,512	0,465	0,594	0,459	0,654	
	% error	5%	7%	3%	7%	7%	7%	9%	8%	8%	6%	5%	
Anular	Myo	0,593	0,601	0,663	0,644	0,567	0,497	0,422	0,528	0,593	0,679	0,557	
	Dispositivo	0,619	0,540	0,630	0,663	0,619	0,544	0,397	0,539	0,626	0,719	0,570	
	% error	4%	10%	5%	3%	9%	9%	6%	2%	6%	6%	2%	
Meñique	Myo	0,625	0,605	0,618	0,591	0,647	0,654	0,633	0,266	0,583	0,605	0,600	
	Dispositivo	0,627	0,647	0,584	0,498	0,627	0,640	0,648	0,260	0,531	0,654	0,676	
	% error	0%	7%	6%	16%	3%	2%	2%	2%	9%	8%	13%	

Como se evidencia en la tabla 23, algunos porcentajes de error de ciertas características dieron un resultado elevado, estos porcentajes, si se tomaron en cuenta a la hora de calcular el error promedio, y debido a los resultados no influyeron en el promedio final.

3.5 Pruebas del algoritmo de clasificación del movimiento individual de los dedos de la mano.

Cabe recordar que, para el algoritmo de clasificación basado en máquinas de soporte vectorial se realizaron 2 tomas de datos para entrenamiento y prueba respectivamente.

En el capítulo de Metodología en la sección 3.7 (Caracterización de señales EMG) se puede observar el comportamiento de las señales EMG caracterizadas de cada movimiento, misma que nos indica gráficamente, el grado de separación que existe entre cada grupo de datos característicos, deduciendo, que, tras la aplicación de la máquina de soporte vectorial, la clasificación obtendrá grandes resultados, no obstante la configuración interna de la misma, influirá en el grado de éxito que se obtenga.

Como se menciona en la tabla 4, existen 3 tipos de configuración a la hora de crear una máquina de soporte vectorial. Las siguientes tablas muestran el porcentaje de acierto en la clasificación dependiendo del tipo de configuración con el que se prepare la máquina de soporte vectorial con el fin de elegir la que mejor porcentaje de clasificación.

3.6 Configuración Algoritmo One Vs One

Se preparó la MSV con un kernel lineal variando, su pendiente hasta encontrar el máximo porcentaje de acierto posible, lo cual se muestra en la tabla 24.

Tabla 24 Configuración One vs One - Kernel Lineal

Kernel	Parámetros	Matriz de confusión	% Acierto	Tiempo																																																								
Lineal	Pendiente 1	<table border="1"> <caption>Confusion Matrix</caption> <thead> <tr> <th>Output Class</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>1</th> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100% 0.0%</td> </tr> <tr> <th>2</th> <td>0 0.0%</td> <td>99 19.8%</td> <td>0 0.0%</td> <td>1 0.2%</td> <td>0 0.0%</td> <td>99.0% 1.0%</td> </tr> <tr> <th>3</th> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100% 0.0%</td> </tr> <tr> <th>4</th> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>7 1.4%</td> <td>93 18.6%</td> <td>0 0.0%</td> <td>93.0% 7.0%</td> </tr> <tr> <th>5</th> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>4 0.8%</td> <td>1 0.2%</td> <td>95 19.0%</td> <td>95.0% 5.0%</td> </tr> <tr> <th>Total</th> <td>100% 0.0%</td> <td>100% 0.0%</td> <td>90.1% 9.9%</td> <td>97.9% 2.1%</td> <td>100% 0.0%</td> <td>97.4% 2.6%</td> </tr> <tr> <th>Target Class</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th></th> </tr> </tbody> </table>	Output Class	1	2	3	4	5	Total	1	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%	2	0 0.0%	99 19.8%	0 0.0%	1 0.2%	0 0.0%	99.0% 1.0%	3	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%	4	0 0.0%	0 0.0%	7 1.4%	93 18.6%	0 0.0%	93.0% 7.0%	5	0 0.0%	0 0.0%	4 0.8%	1 0.2%	95 19.0%	95.0% 5.0%	Total	100% 0.0%	100% 0.0%	90.1% 9.9%	97.9% 2.1%	100% 0.0%	97.4% 2.6%	Target Class	1	2	3	4	5		97.4%	0.595373 segundos
Output Class	1	2	3	4	5	Total																																																						
1	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%																																																						
2	0 0.0%	99 19.8%	0 0.0%	1 0.2%	0 0.0%	99.0% 1.0%																																																						
3	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%																																																						
4	0 0.0%	0 0.0%	7 1.4%	93 18.6%	0 0.0%	93.0% 7.0%																																																						
5	0 0.0%	0 0.0%	4 0.8%	1 0.2%	95 19.0%	95.0% 5.0%																																																						
Total	100% 0.0%	100% 0.0%	90.1% 9.9%	97.9% 2.1%	100% 0.0%	97.4% 2.6%																																																						
Target Class	1	2	3	4	5																																																							

Kernel	Ancho Kernel	Matriz de confusión	% de Acierto	Tiempo																																																	
Lineal	Pendiente 2	<p style="text-align: center;">Confusion Matrix</p> <table border="1"> <tr> <td>1</td> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100% 0.0%</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0 0.0%</td> <td>99 19.8%</td> <td>0 0.0%</td> <td>1 0.2%</td> <td>0 0.0%</td> <td>99.0% 1.0%</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100% 0.0%</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>7 1.4%</td> <td>93 18.6%</td> <td>0 0.0%</td> <td>93.0% 7.0%</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>3 0.6%</td> <td>0 0.0%</td> <td>97 19.4%</td> <td>97.0% 3.0%</td> </tr> <tr> <td></td> <td>100% 0.0%</td> <td>100% 0.0%</td> <td>90.9% 9.1%</td> <td>98.9% 1.1%</td> <td>100% 0.0%</td> <td>97.8% 2.2%</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td></td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">Target Class</p>	1	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%	2	0 0.0%	99 19.8%	0 0.0%	1 0.2%	0 0.0%	99.0% 1.0%	3	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%	4	0 0.0%	0 0.0%	7 1.4%	93 18.6%	0 0.0%	93.0% 7.0%	5	0 0.0%	0 0.0%	3 0.6%	0 0.0%	97 19.4%	97.0% 3.0%		100% 0.0%	100% 0.0%	90.9% 9.1%	98.9% 1.1%	100% 0.0%	97.8% 2.2%		1	2	3	4	5		97.8%	0.848694 segundos
1	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%																																															
2	0 0.0%	99 19.8%	0 0.0%	1 0.2%	0 0.0%	99.0% 1.0%																																															
3	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%																																															
4	0 0.0%	0 0.0%	7 1.4%	93 18.6%	0 0.0%	93.0% 7.0%																																															
5	0 0.0%	0 0.0%	3 0.6%	0 0.0%	97 19.4%	97.0% 3.0%																																															
	100% 0.0%	100% 0.0%	90.9% 9.1%	98.9% 1.1%	100% 0.0%	97.8% 2.2%																																															
	1	2	3	4	5																																																
Lineal	Pendiente 3	<p style="text-align: center;">Confusion Matrix</p> <table border="1"> <tr> <td>1</td> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100% 0.0%</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0 0.0%</td> <td>99 19.8%</td> <td>0 0.0%</td> <td>1 0.2%</td> <td>0 0.0%</td> <td>99.0% 1.0%</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100% 0.0%</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>9 1.8%</td> <td>91 18.2%</td> <td>0 0.0%</td> <td>91.0% 9.0%</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>2 0.4%</td> <td>0 0.0%</td> <td>98 19.6%</td> <td>98.0% 2.0%</td> </tr> <tr> <td></td> <td>100% 0.0%</td> <td>100% 0.0%</td> <td>90.1% 9.9%</td> <td>98.9% 1.1%</td> <td>100% 0.0%</td> <td>97.6% 2.4%</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td></td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">Target Class</p>	1	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%	2	0 0.0%	99 19.8%	0 0.0%	1 0.2%	0 0.0%	99.0% 1.0%	3	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%	4	0 0.0%	0 0.0%	9 1.8%	91 18.2%	0 0.0%	91.0% 9.0%	5	0 0.0%	0 0.0%	2 0.4%	0 0.0%	98 19.6%	98.0% 2.0%		100% 0.0%	100% 0.0%	90.1% 9.9%	98.9% 1.1%	100% 0.0%	97.6% 2.4%		1	2	3	4	5		97.6%	0.652405 segundos
1	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%																																															
2	0 0.0%	99 19.8%	0 0.0%	1 0.2%	0 0.0%	99.0% 1.0%																																															
3	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%																																															
4	0 0.0%	0 0.0%	9 1.8%	91 18.2%	0 0.0%	91.0% 9.0%																																															
5	0 0.0%	0 0.0%	2 0.4%	0 0.0%	98 19.6%	98.0% 2.0%																																															
	100% 0.0%	100% 0.0%	90.1% 9.9%	98.9% 1.1%	100% 0.0%	97.6% 2.4%																																															
	1	2	3	4	5																																																

Kernel	Ancho Kernel	Matriz de confusión	% de Acierto	Tiempo																																																	
Lineal	Pendiente 4.5	<p style="text-align: center;">Confusion Matrix</p> <table border="1"> <tr> <td>1</td> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100% 0.0%</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0 0.0%</td> <td>99 19.8%</td> <td>0 0.0%</td> <td>1 0.2%</td> <td>0 0.0%</td> <td>99.0% 1.0%</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100% 0.0%</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>8 1.6%</td> <td>92 18.4%</td> <td>0 0.0%</td> <td>92.0% 8.0%</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>2 0.4%</td> <td>0 0.0%</td> <td>98 19.6%</td> <td>98.0% 2.0%</td> </tr> <tr> <td></td> <td>100% 0.0%</td> <td>100% 0.0%</td> <td>90.9% 9.1%</td> <td>98.9% 1.1%</td> <td>100% 0.0%</td> <td>97.8% 2.2%</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td></td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">Target Class</p>	1	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%	2	0 0.0%	99 19.8%	0 0.0%	1 0.2%	0 0.0%	99.0% 1.0%	3	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%	4	0 0.0%	0 0.0%	8 1.6%	92 18.4%	0 0.0%	92.0% 8.0%	5	0 0.0%	0 0.0%	2 0.4%	0 0.0%	98 19.6%	98.0% 2.0%		100% 0.0%	100% 0.0%	90.9% 9.1%	98.9% 1.1%	100% 0.0%	97.8% 2.2%		1	2	3	4	5		97.8%	0.853128 segundos
1	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%																																															
2	0 0.0%	99 19.8%	0 0.0%	1 0.2%	0 0.0%	99.0% 1.0%																																															
3	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%																																															
4	0 0.0%	0 0.0%	8 1.6%	92 18.4%	0 0.0%	92.0% 8.0%																																															
5	0 0.0%	0 0.0%	2 0.4%	0 0.0%	98 19.6%	98.0% 2.0%																																															
	100% 0.0%	100% 0.0%	90.9% 9.1%	98.9% 1.1%	100% 0.0%	97.8% 2.2%																																															
	1	2	3	4	5																																																
Lineal	Pendiente 5.3	<p style="text-align: center;">Confusion Matrix</p> <table border="1"> <tr> <td>1</td> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100% 0.0%</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0 0.0%</td> <td>99 19.8%</td> <td>0 0.0%</td> <td>1 0.2%</td> <td>0 0.0%</td> <td>99.0% 1.0%</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100% 0.0%</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>8 1.6%</td> <td>92 18.4%</td> <td>0 0.0%</td> <td>92.0% 8.0%</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>2 0.4%</td> <td>0 0.0%</td> <td>98 19.6%</td> <td>98.0% 2.0%</td> </tr> <tr> <td></td> <td>100% 0.0%</td> <td>100% 0.0%</td> <td>90.9% 9.1%</td> <td>98.9% 1.1%</td> <td>100% 0.0%</td> <td>97.8% 2.2%</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td></td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">Target Class</p>	1	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%	2	0 0.0%	99 19.8%	0 0.0%	1 0.2%	0 0.0%	99.0% 1.0%	3	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%	4	0 0.0%	0 0.0%	8 1.6%	92 18.4%	0 0.0%	92.0% 8.0%	5	0 0.0%	0 0.0%	2 0.4%	0 0.0%	98 19.6%	98.0% 2.0%		100% 0.0%	100% 0.0%	90.9% 9.1%	98.9% 1.1%	100% 0.0%	97.8% 2.2%		1	2	3	4	5		97.8%	0.600520
1	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%																																															
2	0 0.0%	99 19.8%	0 0.0%	1 0.2%	0 0.0%	99.0% 1.0%																																															
3	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%																																															
4	0 0.0%	0 0.0%	8 1.6%	92 18.4%	0 0.0%	92.0% 8.0%																																															
5	0 0.0%	0 0.0%	2 0.4%	0 0.0%	98 19.6%	98.0% 2.0%																																															
	100% 0.0%	100% 0.0%	90.9% 9.1%	98.9% 1.1%	100% 0.0%	97.8% 2.2%																																															
	1	2	3	4	5																																																

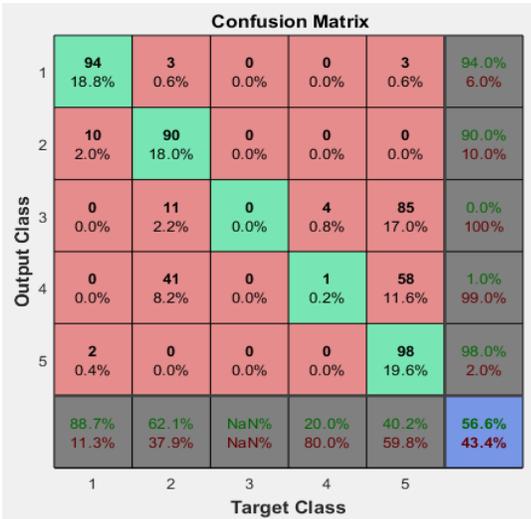
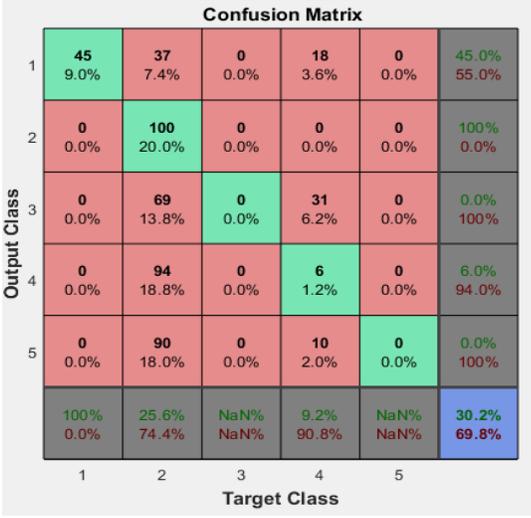
Kernel	Ancho Kernel	Matriz de confusión	% de Acierto	Tiempo																																																								
Lineal	6.3	<table border="1"> <caption>Confusion Matrix</caption> <thead> <tr> <th>Output Class</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>1</th> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100 0.0%</td> </tr> <tr> <th>2</th> <td>0 0.0%</td> <td>99 19.8%</td> <td>0 0.0%</td> <td>1 0.2%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100 1.0%</td> </tr> <tr> <th>3</th> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100 0.0%</td> </tr> <tr> <th>4</th> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>9 1.8%</td> <td>91 18.2%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100 9.0%</td> </tr> <tr> <th>5</th> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>2 0.4%</td> <td>1 0.2%</td> <td>97 19.4%</td> <td>100 3.0%</td> </tr> <tr> <th>Total</th> <td>100 0.0%</td> <td>100 0.0%</td> <td>90.1 9.9%</td> <td>97.8 2.2%</td> <td>100 0.0%</td> <td>100 2.6%</td> </tr> <tr> <th>Target Class</th> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Output Class	1	2	3	4	5	Total	1	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 0.0%	2	0 0.0%	99 19.8%	0 0.0%	1 0.2%	0 0.0%	100 1.0%	3	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 0.0%	4	0 0.0%	0 0.0%	9 1.8%	91 18.2%	0 0.0%	100 9.0%	5	0 0.0%	0 0.0%	2 0.4%	1 0.2%	97 19.4%	100 3.0%	Total	100 0.0%	100 0.0%	90.1 9.9%	97.8 2.2%	100 0.0%	100 2.6%	Target Class	1	2	3	4	5		97.4%	0.614967 segundos
Output Class	1	2	3	4	5	Total																																																						
1	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 0.0%																																																						
2	0 0.0%	99 19.8%	0 0.0%	1 0.2%	0 0.0%	100 1.0%																																																						
3	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 0.0%																																																						
4	0 0.0%	0 0.0%	9 1.8%	91 18.2%	0 0.0%	100 9.0%																																																						
5	0 0.0%	0 0.0%	2 0.4%	1 0.2%	97 19.4%	100 3.0%																																																						
Total	100 0.0%	100 0.0%	90.1 9.9%	97.8 2.2%	100 0.0%	100 2.6%																																																						
Target Class	1	2	3	4	5																																																							

Al utilizar una MSV one vs one en configuración lineal, la configuración que obtuvo mayor porcentaje de clasificación (97.8%) fue de pendiente 5.3, con un tiempo de clasificación de 0.600520 segundos

A continuación, se creó la MSV con un kernel polinomial variando el orden de su polinomio hasta encontrar el máximo porcentaje de acierto posible, lo cual se muestra en la tabla 25.

Tabla 25 Configuración One vs One - Kernel Polinomial

Kernel	Orden polinomio	Matriz de confusión	% de Acierto	Tiempo																																																	
Polinomial	2	<table border="1"> <caption>Confusion Matrix</caption> <thead> <tr> <th>Output Class \ Target Class</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>Accuracy</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>1</th> <td>94 18.8%</td> <td>6 1.2%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>94.0% 6.0%</td> </tr> <tr> <th>2</th> <td>0 0.0%</td> <td>65 13.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>1 0.2%</td> <td>34 6.8%</td> <td>65.0% 35.0%</td> </tr> <tr> <th>3</th> <td>0 0.0%</td> <td>6 1.2%</td> <td>94 18.8%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>94.0% 6.0%</td> </tr> <tr> <th>4</th> <td>0 0.0%</td> <td>6 1.2%</td> <td>8 1.6%</td> <td>86 17.2%</td> <td>0 0.0%</td> <td>86.0% 14.0%</td> </tr> <tr> <th>5</th> <td>1 0.2%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>1 0.2%</td> <td>98 19.6%</td> <td>98.0% 2.0%</td> </tr> <tr> <th>Total</th> <td>98.9% 1.1%</td> <td>78.3% 21.7%</td> <td>92.2% 7.8%</td> <td>97.7% 2.3%</td> <td>74.2% 25.8%</td> <td>87.4% 12.6%</td> </tr> </tbody> </table>	Output Class \ Target Class	1	2	3	4	5	Accuracy	1	94 18.8%	6 1.2%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	94.0% 6.0%	2	0 0.0%	65 13.0%	0 0.0%	1 0.2%	34 6.8%	65.0% 35.0%	3	0 0.0%	6 1.2%	94 18.8%	0 0.0%	0 0.0%	94.0% 6.0%	4	0 0.0%	6 1.2%	8 1.6%	86 17.2%	0 0.0%	86.0% 14.0%	5	1 0.2%	0 0.0%	0 0.0%	1 0.2%	98 19.6%	98.0% 2.0%	Total	98.9% 1.1%	78.3% 21.7%	92.2% 7.8%	97.7% 2.3%	74.2% 25.8%	87.4% 12.6%	87.4%	0.67325 segundos
Output Class \ Target Class	1	2	3	4	5	Accuracy																																															
1	94 18.8%	6 1.2%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	94.0% 6.0%																																															
2	0 0.0%	65 13.0%	0 0.0%	1 0.2%	34 6.8%	65.0% 35.0%																																															
3	0 0.0%	6 1.2%	94 18.8%	0 0.0%	0 0.0%	94.0% 6.0%																																															
4	0 0.0%	6 1.2%	8 1.6%	86 17.2%	0 0.0%	86.0% 14.0%																																															
5	1 0.2%	0 0.0%	0 0.0%	1 0.2%	98 19.6%	98.0% 2.0%																																															
Total	98.9% 1.1%	78.3% 21.7%	92.2% 7.8%	97.7% 2.3%	74.2% 25.8%	87.4% 12.6%																																															
Polinomial	3	<table border="1"> <caption>Confusion Matrix</caption> <thead> <tr> <th>Output Class \ Target Class</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>Accuracy</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>1</th> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100.0% 0.0%</td> </tr> <tr> <th>2</th> <td>0 0.0%</td> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100.0% 0.0%</td> </tr> <tr> <th>3</th> <td>0 0.0%</td> <td>1 0.2%</td> <td>97 19.4%</td> <td>2 0.4%</td> <td>0 0.0%</td> <td>97.0% 3.0%</td> </tr> <tr> <th>4</th> <td>0 0.0%</td> <td>6 1.2%</td> <td>15 3.0%</td> <td>79 15.8%</td> <td>0 0.0%</td> <td>79.0% 21.0%</td> </tr> <tr> <th>5</th> <td>4 0.8%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>1 0.2%</td> <td>95 19.0%</td> <td>95.0% 5.0%</td> </tr> <tr> <th>Total</th> <td>96.2% 3.8%</td> <td>93.5% 6.5%</td> <td>86.6% 13.4%</td> <td>96.3% 3.7%</td> <td>100% 0.0%</td> <td>94.2% 5.8%</td> </tr> </tbody> </table>	Output Class \ Target Class	1	2	3	4	5	Accuracy	1	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100.0% 0.0%	2	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100.0% 0.0%	3	0 0.0%	1 0.2%	97 19.4%	2 0.4%	0 0.0%	97.0% 3.0%	4	0 0.0%	6 1.2%	15 3.0%	79 15.8%	0 0.0%	79.0% 21.0%	5	4 0.8%	0 0.0%	0 0.0%	1 0.2%	95 19.0%	95.0% 5.0%	Total	96.2% 3.8%	93.5% 6.5%	86.6% 13.4%	96.3% 3.7%	100% 0.0%	94.2% 5.8%	94.2%	0.933932 segundos
Output Class \ Target Class	1	2	3	4	5	Accuracy																																															
1	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100.0% 0.0%																																															
2	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100.0% 0.0%																																															
3	0 0.0%	1 0.2%	97 19.4%	2 0.4%	0 0.0%	97.0% 3.0%																																															
4	0 0.0%	6 1.2%	15 3.0%	79 15.8%	0 0.0%	79.0% 21.0%																																															
5	4 0.8%	0 0.0%	0 0.0%	1 0.2%	95 19.0%	95.0% 5.0%																																															
Total	96.2% 3.8%	93.5% 6.5%	86.6% 13.4%	96.3% 3.7%	100% 0.0%	94.2% 5.8%																																															

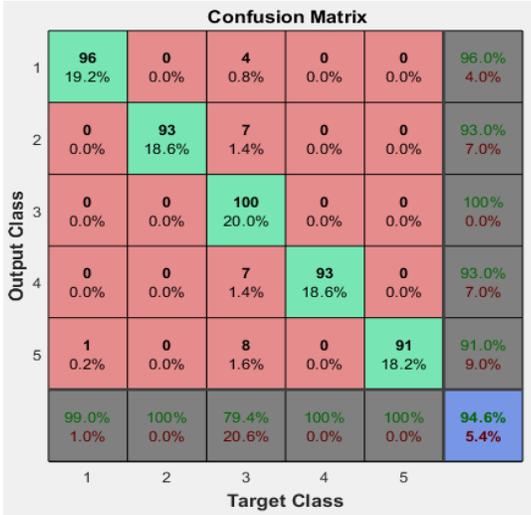
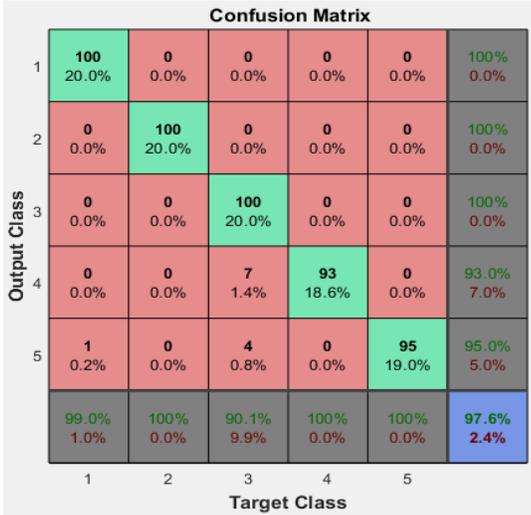
Kernel	Ancho Kernel	Matriz de confusión	% de Acierto	Tiempo																																																	
Polinomial	4	 <p>Confusion Matrix</p> <table border="1"> <tr> <td>1</td> <td>94 18.8%</td> <td>3 0.6%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>3 0.6%</td> <td>94.0% 6.0%</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>10 2.0%</td> <td>90 18.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>90.0% 10.0%</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0 0.0%</td> <td>11 2.2%</td> <td>0 0.0%</td> <td>4 0.8%</td> <td>85 17.0%</td> <td>0.0% 100%</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0 0.0%</td> <td>41 8.2%</td> <td>0 0.0%</td> <td>1 0.2%</td> <td>58 11.6%</td> <td>1.0% 99.0%</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>2 0.4%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>98 19.6%</td> <td>98.0% 2.0%</td> </tr> <tr> <td></td> <td>88.7% 11.3%</td> <td>62.1% 37.9%</td> <td>NaN% NaN%</td> <td>20.0% 80.0%</td> <td>40.2% 59.8%</td> <td>56.6% 43.4%</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td></td> </tr> </table> <p>Output Class</p> <p>Target Class</p>	1	94 18.8%	3 0.6%	0 0.0%	0 0.0%	3 0.6%	94.0% 6.0%	2	10 2.0%	90 18.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	90.0% 10.0%	3	0 0.0%	11 2.2%	0 0.0%	4 0.8%	85 17.0%	0.0% 100%	4	0 0.0%	41 8.2%	0 0.0%	1 0.2%	58 11.6%	1.0% 99.0%	5	2 0.4%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	98 19.6%	98.0% 2.0%		88.7% 11.3%	62.1% 37.9%	NaN% NaN%	20.0% 80.0%	40.2% 59.8%	56.6% 43.4%		1	2	3	4	5		54.4%	32.86641 segundos
1	94 18.8%	3 0.6%	0 0.0%	0 0.0%	3 0.6%	94.0% 6.0%																																															
2	10 2.0%	90 18.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	90.0% 10.0%																																															
3	0 0.0%	11 2.2%	0 0.0%	4 0.8%	85 17.0%	0.0% 100%																																															
4	0 0.0%	41 8.2%	0 0.0%	1 0.2%	58 11.6%	1.0% 99.0%																																															
5	2 0.4%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	98 19.6%	98.0% 2.0%																																															
	88.7% 11.3%	62.1% 37.9%	NaN% NaN%	20.0% 80.0%	40.2% 59.8%	56.6% 43.4%																																															
	1	2	3	4	5																																																
Polinomial	7	 <p>Confusion Matrix</p> <table border="1"> <tr> <td>1</td> <td>45 9.0%</td> <td>37 7.4%</td> <td>0 0.0%</td> <td>18 3.6%</td> <td>0 0.0%</td> <td>45.0% 55.0%</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0 0.0%</td> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100% 0.0%</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0 0.0%</td> <td>69 13.8%</td> <td>0 0.0%</td> <td>31 6.2%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0.0% 100%</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0 0.0%</td> <td>94 18.8%</td> <td>0 0.0%</td> <td>6 1.2%</td> <td>0 0.0%</td> <td>6.0% 94.0%</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>0 0.0%</td> <td>90 18.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>10 2.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0.0% 100%</td> </tr> <tr> <td></td> <td>100% 0.0%</td> <td>25.6% 74.4%</td> <td>NaN% NaN%</td> <td>9.2% 90.8%</td> <td>NaN% NaN%</td> <td>30.2% 69.8%</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td></td> </tr> </table> <p>Output Class</p> <p>Target Class</p>	1	45 9.0%	37 7.4%	0 0.0%	18 3.6%	0 0.0%	45.0% 55.0%	2	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%	3	0 0.0%	69 13.8%	0 0.0%	31 6.2%	0 0.0%	0.0% 100%	4	0 0.0%	94 18.8%	0 0.0%	6 1.2%	0 0.0%	6.0% 94.0%	5	0 0.0%	90 18.0%	0 0.0%	10 2.0%	0 0.0%	0.0% 100%		100% 0.0%	25.6% 74.4%	NaN% NaN%	9.2% 90.8%	NaN% NaN%	30.2% 69.8%		1	2	3	4	5		30.2%	35.76760 segundos
1	45 9.0%	37 7.4%	0 0.0%	18 3.6%	0 0.0%	45.0% 55.0%																																															
2	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%																																															
3	0 0.0%	69 13.8%	0 0.0%	31 6.2%	0 0.0%	0.0% 100%																																															
4	0 0.0%	94 18.8%	0 0.0%	6 1.2%	0 0.0%	6.0% 94.0%																																															
5	0 0.0%	90 18.0%	0 0.0%	10 2.0%	0 0.0%	0.0% 100%																																															
	100% 0.0%	25.6% 74.4%	NaN% NaN%	9.2% 90.8%	NaN% NaN%	30.2% 69.8%																																															
	1	2	3	4	5																																																

Kernel	Ancho Kernel	Matriz de confusión	% de Acierto	Tiempo																																																	
Polinomial	6	<table border="1"> <caption>Confusion Matrix</caption> <tr> <th>Output Class</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>Total</th> </tr> <tr> <th>1</th> <td>8 1.6%</td> <td>92 18.4%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>92.0%</td> </tr> <tr> <th>2</th> <td>0 0.0%</td> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100.0%</td> </tr> <tr> <th>3</th> <td>0 0.0%</td> <td>62 12.4%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>38 7.6%</td> <td>100.0%</td> </tr> <tr> <th>4</th> <td>0 0.0%</td> <td>99 19.8%</td> <td>1 0.2%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100.0%</td> </tr> <tr> <th>5</th> <td>0 0.0%</td> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100.0%</td> </tr> <tr> <th>Target Class</th> <td>100% 0.0%</td> <td>22.1% 77.9%</td> <td>0.0% 100%</td> <td>NaN% NaN%</td> <td>0.0% 100%</td> <td>21.6% 78.4%</td> </tr> </table>	Output Class	1	2	3	4	5	Total	1	8 1.6%	92 18.4%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	92.0%	2	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100.0%	3	0 0.0%	62 12.4%	0 0.0%	0 0.0%	38 7.6%	100.0%	4	0 0.0%	99 19.8%	1 0.2%	0 0.0%	0 0.0%	100.0%	5	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100.0%	Target Class	100% 0.0%	22.1% 77.9%	0.0% 100%	NaN% NaN%	0.0% 100%	21.6% 78.4%	21.6%	48.22630 segundos
Output Class	1	2	3	4	5	Total																																															
1	8 1.6%	92 18.4%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	92.0%																																															
2	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100.0%																																															
3	0 0.0%	62 12.4%	0 0.0%	0 0.0%	38 7.6%	100.0%																																															
4	0 0.0%	99 19.8%	1 0.2%	0 0.0%	0 0.0%	100.0%																																															
5	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100.0%																																															
Target Class	100% 0.0%	22.1% 77.9%	0.0% 100%	NaN% NaN%	0.0% 100%	21.6% 78.4%																																															

Al utilizar una MSV one vs one en configuración polinomial, la configuración que obtuvo mayor porcentaje de clasificación (94.3%) fue de orden 3, con un tiempo de clasificación de 0.933932 segundos. Finalmente se creó otra MSV con un kernel gaussiano variando el ancho de su kernel hasta encontrar el máximo porcentaje de acierto posible, lo cual se muestra en la tabla 26.

Tabla 26 Configuración One vs One - Kernel Gaussiano

Kernel	Ancho Kernel	Matriz de confusión	% de Acierto	Tiempo																																																	
Gaussiano	5	<table border="1"> <caption>Confusion Matrix</caption> <tr> <th>Output Class</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>Total</th> </tr> <tr> <th>1</th> <td>92 18.4%</td> <td>0 0.0%</td> <td>8 1.6%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>92.0%</td> </tr> <tr> <th>2</th> <td>0 0.0%</td> <td>66 13.2%</td> <td>34 6.8%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>66.0%</td> </tr> <tr> <th>3</th> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100.0%</td> </tr> <tr> <th>4</th> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>8 1.6%</td> <td>92 18.4%</td> <td>0 0.0%</td> <td>92.0%</td> </tr> <tr> <th>5</th> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>17 3.4%</td> <td>0 0.0%</td> <td>83 16.6%</td> <td>83.0%</td> </tr> <tr> <th>Target Class</th> <td>100% 0.0%</td> <td>100% 0.0%</td> <td>59.9% 40.1%</td> <td>100% 0.0%</td> <td>100% 0.0%</td> <td>86.6% 13.4%</td> </tr> </table>	Output Class	1	2	3	4	5	Total	1	92 18.4%	0 0.0%	8 1.6%	0 0.0%	0 0.0%	92.0%	2	0 0.0%	66 13.2%	34 6.8%	0 0.0%	0 0.0%	66.0%	3	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	100.0%	4	0 0.0%	0 0.0%	8 1.6%	92 18.4%	0 0.0%	92.0%	5	0 0.0%	0 0.0%	17 3.4%	0 0.0%	83 16.6%	83.0%	Target Class	100% 0.0%	100% 0.0%	59.9% 40.1%	100% 0.0%	100% 0.0%	86.6% 13.4%	86.6%	0.646314 segundos
Output Class	1	2	3	4	5	Total																																															
1	92 18.4%	0 0.0%	8 1.6%	0 0.0%	0 0.0%	92.0%																																															
2	0 0.0%	66 13.2%	34 6.8%	0 0.0%	0 0.0%	66.0%																																															
3	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	100.0%																																															
4	0 0.0%	0 0.0%	8 1.6%	92 18.4%	0 0.0%	92.0%																																															
5	0 0.0%	0 0.0%	17 3.4%	0 0.0%	83 16.6%	83.0%																																															
Target Class	100% 0.0%	100% 0.0%	59.9% 40.1%	100% 0.0%	100% 0.0%	86.6% 13.4%																																															

Kernel	Ancho Kernel	Matriz de confusión	% de Acierto	Tiempo																																																								
Gaussiano	10	 <p>Confusion Matrix</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Output Class</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>1</th> <td>96 19.2%</td> <td>0 0.0%</td> <td>4 0.8%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>96.0% 4.0%</td> </tr> <tr> <th>2</th> <td>0 0.0%</td> <td>93 18.6%</td> <td>7 1.4%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>93.0% 7.0%</td> </tr> <tr> <th>3</th> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100% 0.0%</td> </tr> <tr> <th>4</th> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>7 1.4%</td> <td>93 18.6%</td> <td>0 0.0%</td> <td>93.0% 7.0%</td> </tr> <tr> <th>5</th> <td>1 0.2%</td> <td>0 0.0%</td> <td>8 1.6%</td> <td>0 0.0%</td> <td>91 18.2%</td> <td>91.0% 9.0%</td> </tr> <tr> <th></th> <td>99.0% 1.0%</td> <td>100% 0.0%</td> <td>79.4% 20.6%</td> <td>100% 0.0%</td> <td>100% 0.0%</td> <td>94.6% 5.4%</td> </tr> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th></th> </tr> </tbody> </table>	Output Class	1	2	3	4	5		1	96 19.2%	0 0.0%	4 0.8%	0 0.0%	0 0.0%	96.0% 4.0%	2	0 0.0%	93 18.6%	7 1.4%	0 0.0%	0 0.0%	93.0% 7.0%	3	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%	4	0 0.0%	0 0.0%	7 1.4%	93 18.6%	0 0.0%	93.0% 7.0%	5	1 0.2%	0 0.0%	8 1.6%	0 0.0%	91 18.2%	91.0% 9.0%		99.0% 1.0%	100% 0.0%	79.4% 20.6%	100% 0.0%	100% 0.0%	94.6% 5.4%		1	2	3	4	5		94.6%	0.863361 segundos
Output Class	1	2	3	4	5																																																							
1	96 19.2%	0 0.0%	4 0.8%	0 0.0%	0 0.0%	96.0% 4.0%																																																						
2	0 0.0%	93 18.6%	7 1.4%	0 0.0%	0 0.0%	93.0% 7.0%																																																						
3	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%																																																						
4	0 0.0%	0 0.0%	7 1.4%	93 18.6%	0 0.0%	93.0% 7.0%																																																						
5	1 0.2%	0 0.0%	8 1.6%	0 0.0%	91 18.2%	91.0% 9.0%																																																						
	99.0% 1.0%	100% 0.0%	79.4% 20.6%	100% 0.0%	100% 0.0%	94.6% 5.4%																																																						
	1	2	3	4	5																																																							
Gaussiano	15	 <p>Confusion Matrix</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Output Class</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>1</th> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100% 0.0%</td> </tr> <tr> <th>2</th> <td>0 0.0%</td> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100% 0.0%</td> </tr> <tr> <th>3</th> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100% 0.0%</td> </tr> <tr> <th>4</th> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>7 1.4%</td> <td>93 18.6%</td> <td>0 0.0%</td> <td>93.0% 7.0%</td> </tr> <tr> <th>5</th> <td>1 0.2%</td> <td>0 0.0%</td> <td>4 0.8%</td> <td>0 0.0%</td> <td>95 19.0%</td> <td>95.0% 5.0%</td> </tr> <tr> <th></th> <td>99.0% 1.0%</td> <td>100% 0.0%</td> <td>90.1% 9.9%</td> <td>100% 0.0%</td> <td>100% 0.0%</td> <td>97.6% 2.4%</td> </tr> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th></th> </tr> </tbody> </table>	Output Class	1	2	3	4	5		1	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%	2	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%	3	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%	4	0 0.0%	0 0.0%	7 1.4%	93 18.6%	0 0.0%	93.0% 7.0%	5	1 0.2%	0 0.0%	4 0.8%	0 0.0%	95 19.0%	95.0% 5.0%		99.0% 1.0%	100% 0.0%	90.1% 9.9%	100% 0.0%	100% 0.0%	97.6% 2.4%		1	2	3	4	5		97.6%	0.859088 segundos
Output Class	1	2	3	4	5																																																							
1	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%																																																						
2	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%																																																						
3	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%																																																						
4	0 0.0%	0 0.0%	7 1.4%	93 18.6%	0 0.0%	93.0% 7.0%																																																						
5	1 0.2%	0 0.0%	4 0.8%	0 0.0%	95 19.0%	95.0% 5.0%																																																						
	99.0% 1.0%	100% 0.0%	90.1% 9.9%	100% 0.0%	100% 0.0%	97.6% 2.4%																																																						
	1	2	3	4	5																																																							

Kernel	Ancho Kernel	Matriz de confusión	% de Acierto	Tiempo																																																	
Gaussiano	18	<table border="1"> <caption>Confusion Matrix</caption> <thead> <tr> <th>Output Class \ Target Class</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>1</th> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100 0.0%</td> </tr> <tr> <th>2</th> <td>0 0.0%</td> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100 0.0%</td> </tr> <tr> <th>3</th> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100 0.0%</td> </tr> <tr> <th>4</th> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>8 1.6%</td> <td>92 18.4%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100 8.0%</td> </tr> <tr> <th>5</th> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>4 0.8%</td> <td>0 0.0%</td> <td>96 19.2%</td> <td>100 4.0%</td> </tr> <tr> <th>Total</th> <td>100 0.0%</td> <td>100 0.0%</td> <td>89.3% 10.7%</td> <td>100 0.0%</td> <td>100 0.0%</td> <td>97.6% 2.4%</td> </tr> </tbody> </table>	Output Class \ Target Class	1	2	3	4	5	Total	1	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 0.0%	2	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 0.0%	3	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 0.0%	4	0 0.0%	0 0.0%	8 1.6%	92 18.4%	0 0.0%	100 8.0%	5	0 0.0%	0 0.0%	4 0.8%	0 0.0%	96 19.2%	100 4.0%	Total	100 0.0%	100 0.0%	89.3% 10.7%	100 0.0%	100 0.0%	97.6% 2.4%	97.6%	0.628105 segundos
Output Class \ Target Class	1	2	3	4	5	Total																																															
1	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 0.0%																																															
2	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 0.0%																																															
3	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 0.0%																																															
4	0 0.0%	0 0.0%	8 1.6%	92 18.4%	0 0.0%	100 8.0%																																															
5	0 0.0%	0 0.0%	4 0.8%	0 0.0%	96 19.2%	100 4.0%																																															
Total	100 0.0%	100 0.0%	89.3% 10.7%	100 0.0%	100 0.0%	97.6% 2.4%																																															
Gaussiano	22	<table border="1"> <caption>Confusion Matrix</caption> <thead> <tr> <th>Output Class \ Target Class</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>1</th> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100 0.0%</td> </tr> <tr> <th>2</th> <td>0 0.0%</td> <td>98 19.6%</td> <td>0 0.0%</td> <td>2 0.4%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100 2.0%</td> </tr> <tr> <th>3</th> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100 0.0%</td> </tr> <tr> <th>4</th> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>7 1.4%</td> <td>93 18.6%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100 7.0%</td> </tr> <tr> <th>5</th> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>3 0.6%</td> <td>0 0.0%</td> <td>97 19.4%</td> <td>100 3.0%</td> </tr> <tr> <th>Total</th> <td>100 0.0%</td> <td>100 0.0%</td> <td>90.9% 9.1%</td> <td>97.9% 2.1%</td> <td>100 0.0%</td> <td>97.6% 2.4%</td> </tr> </tbody> </table>	Output Class \ Target Class	1	2	3	4	5	Total	1	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 0.0%	2	0 0.0%	98 19.6%	0 0.0%	2 0.4%	0 0.0%	100 2.0%	3	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 0.0%	4	0 0.0%	0 0.0%	7 1.4%	93 18.6%	0 0.0%	100 7.0%	5	0 0.0%	0 0.0%	3 0.6%	0 0.0%	97 19.4%	100 3.0%	Total	100 0.0%	100 0.0%	90.9% 9.1%	97.9% 2.1%	100 0.0%	97.6% 2.4%	97.6%	0.933383 segundos
Output Class \ Target Class	1	2	3	4	5	Total																																															
1	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 0.0%																																															
2	0 0.0%	98 19.6%	0 0.0%	2 0.4%	0 0.0%	100 2.0%																																															
3	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 0.0%																																															
4	0 0.0%	0 0.0%	7 1.4%	93 18.6%	0 0.0%	100 7.0%																																															
5	0 0.0%	0 0.0%	3 0.6%	0 0.0%	97 19.4%	100 3.0%																																															
Total	100 0.0%	100 0.0%	90.9% 9.1%	97.9% 2.1%	100 0.0%	97.6% 2.4%																																															

Al utilizar una MSV one vs one en configuración gaussiana, la configuración que obtuvo mayor porcentaje de clasificación (97.6%) fue de escala de kernel 18, con un tiempo de clasificación de 0.628105 segundos.

3.7 Configuración Algoritmo One Vs All

Se preparó la MSV con un kernel lineal variando, su pendiente hasta encontrar el máximo porcentaje de acierto posible, lo cual se muestra en la tabla 27.

Tabla 27 Configuración One vs All - Kernel Lineal

Kernel	Parámetros	Matriz de confusión	% Acierto	Tiempo																																																	
Lineal	Pendiente 1	<table border="1"> <caption>Confusion Matrix</caption> <thead> <tr> <th>Output Class \ Target Class</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>1</th> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100</td> </tr> <tr> <th>2</th> <td>1 0.2%</td> <td>99 19.8%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100</td> </tr> <tr> <th>3</th> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100</td> </tr> <tr> <th>4</th> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>6 1.2%</td> <td>94 18.8%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100</td> </tr> <tr> <th>5</th> <td>4 0.8%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>96 19.2%</td> <td>100</td> </tr> <tr> <th>Total</th> <td>95.2% 4.8%</td> <td>100% 0.0%</td> <td>94.3% 5.7%</td> <td>100% 0.0%</td> <td>100% 0.0%</td> <td>97.8% 2.2%</td> </tr> </tbody> </table>	Output Class \ Target Class	1	2	3	4	5	Total	1	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100	2	1 0.2%	99 19.8%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100	3	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	100	4	0 0.0%	0 0.0%	6 1.2%	94 18.8%	0 0.0%	100	5	4 0.8%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	96 19.2%	100	Total	95.2% 4.8%	100% 0.0%	94.3% 5.7%	100% 0.0%	100% 0.0%	97.8% 2.2%	97.8%	0.547987 segundos
Output Class \ Target Class	1	2	3	4	5	Total																																															
1	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100																																															
2	1 0.2%	99 19.8%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100																																															
3	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	100																																															
4	0 0.0%	0 0.0%	6 1.2%	94 18.8%	0 0.0%	100																																															
5	4 0.8%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	96 19.2%	100																																															
Total	95.2% 4.8%	100% 0.0%	94.3% 5.7%	100% 0.0%	100% 0.0%	97.8% 2.2%																																															
Lineal	Pendiente 2	<table border="1"> <caption>Confusion Matrix</caption> <thead> <tr> <th>Output Class \ Target Class</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>1</th> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100</td> </tr> <tr> <th>2</th> <td>0 0.0%</td> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100</td> </tr> <tr> <th>3</th> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100</td> </tr> <tr> <th>4</th> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>6 1.2%</td> <td>94 18.8%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100</td> </tr> <tr> <th>5</th> <td>2 0.4%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>98 19.6%</td> <td>100</td> </tr> <tr> <th>Total</th> <td>98.0% 2.0%</td> <td>100% 0.0%</td> <td>94.3% 5.7%</td> <td>100% 0.0%</td> <td>100% 0.0%</td> <td>98.4% 1.6%</td> </tr> </tbody> </table>	Output Class \ Target Class	1	2	3	4	5	Total	1	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100	2	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100	3	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	100	4	0 0.0%	0 0.0%	6 1.2%	94 18.8%	0 0.0%	100	5	2 0.4%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	98 19.6%	100	Total	98.0% 2.0%	100% 0.0%	94.3% 5.7%	100% 0.0%	100% 0.0%	98.4% 1.6%	98.4%	0.823529 segundos
Output Class \ Target Class	1	2	3	4	5	Total																																															
1	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100																																															
2	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100																																															
3	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	100																																															
4	0 0.0%	0 0.0%	6 1.2%	94 18.8%	0 0.0%	100																																															
5	2 0.4%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	98 19.6%	100																																															
Total	98.0% 2.0%	100% 0.0%	94.3% 5.7%	100% 0.0%	100% 0.0%	98.4% 1.6%																																															

Kernel	Ancho Kernel	Matriz de confusión	% de Acierto	Tiempo																																																	
Lineal	Pendiente 3	<p style="text-align: center;">Confusion Matrix</p> <table border="1"> <tr> <td>1</td> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100 0.0%</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0 0.0%</td> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100 0.0%</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100 0.0%</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>5 1.0%</td> <td>95 19.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>95.0 5.0%</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>1 0.2%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>99 19.8%</td> <td>99.0 1.0%</td> </tr> <tr> <td></td> <td>99.0% 1.0%</td> <td>100% 0.0%</td> <td>95.2% 4.8%</td> <td>100% 0.0%</td> <td>100% 0.0%</td> <td>98.8% 1.2%</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td></td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">Target Class</p>	1	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 0.0%	2	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 0.0%	3	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 0.0%	4	0 0.0%	0 0.0%	5 1.0%	95 19.0%	0 0.0%	95.0 5.0%	5	1 0.2%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	99 19.8%	99.0 1.0%		99.0% 1.0%	100% 0.0%	95.2% 4.8%	100% 0.0%	100% 0.0%	98.8% 1.2%		1	2	3	4	5		98.8%	0.761132 segundos
1	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 0.0%																																															
2	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 0.0%																																															
3	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 0.0%																																															
4	0 0.0%	0 0.0%	5 1.0%	95 19.0%	0 0.0%	95.0 5.0%																																															
5	1 0.2%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	99 19.8%	99.0 1.0%																																															
	99.0% 1.0%	100% 0.0%	95.2% 4.8%	100% 0.0%	100% 0.0%	98.8% 1.2%																																															
	1	2	3	4	5																																																
Lineal	Pendiente 4.5	<p style="text-align: center;">Confusion Matrix</p> <table border="1"> <tr> <td>1</td> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100 0.0%</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0 0.0%</td> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100 0.0%</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100 0.0%</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>4 0.8%</td> <td>96 19.2%</td> <td>0 0.0%</td> <td>96.0 4.0%</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>1 0.2%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>99 19.8%</td> <td>99.0 1.0%</td> </tr> <tr> <td></td> <td>99.0% 1.0%</td> <td>100% 0.0%</td> <td>96.2% 3.8%</td> <td>100% 0.0%</td> <td>100% 0.0%</td> <td>99.0% 1.0%</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td></td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">Target Class</p>	1	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 0.0%	2	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 0.0%	3	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 0.0%	4	0 0.0%	0 0.0%	4 0.8%	96 19.2%	0 0.0%	96.0 4.0%	5	1 0.2%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	99 19.8%	99.0 1.0%		99.0% 1.0%	100% 0.0%	96.2% 3.8%	100% 0.0%	100% 0.0%	99.0% 1.0%		1	2	3	4	5		99%	0.621363 segundos
1	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 0.0%																																															
2	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 0.0%																																															
3	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 0.0%																																															
4	0 0.0%	0 0.0%	4 0.8%	96 19.2%	0 0.0%	96.0 4.0%																																															
5	1 0.2%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	99 19.8%	99.0 1.0%																																															
	99.0% 1.0%	100% 0.0%	96.2% 3.8%	100% 0.0%	100% 0.0%	99.0% 1.0%																																															
	1	2	3	4	5																																																

Kernel	Ancho Kernel	Matriz de confusión	% de Acierto	Tiempo																																																	
Lineal	Pendiente 5.3	<table border="1"> <caption>Confusion Matrix</caption> <tr><th>Output Class \ Target Class</th><th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th><th>5</th><th>Row Total</th></tr> <tr><th>1</th><td>100 20.0%</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>100 0.0%</td></tr> <tr><th>2</th><td>0 0.0%</td><td>100 20.0%</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>100 0.0%</td></tr> <tr><th>3</th><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>100 20.0%</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>100 0.0%</td></tr> <tr><th>4</th><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>4 0.8%</td><td>96 19.2%</td><td>0 0.0%</td><td>100 4.0%</td></tr> <tr><th>5</th><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>100 20.0%</td><td>100 0.0%</td></tr> <tr><th>Column Total</th><td>100 0.0%</td><td>100 0.0%</td><td>104 3.8%</td><td>96 0.0%</td><td>100 0.0%</td><td>400 0.8%</td></tr> </table>	Output Class \ Target Class	1	2	3	4	5	Row Total	1	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 0.0%	2	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 0.0%	3	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 0.0%	4	0 0.0%	0 0.0%	4 0.8%	96 19.2%	0 0.0%	100 4.0%	5	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	100 0.0%	Column Total	100 0.0%	100 0.0%	104 3.8%	96 0.0%	100 0.0%	400 0.8%	99.2%	0.599672 segundos
Output Class \ Target Class	1	2	3	4	5	Row Total																																															
1	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 0.0%																																															
2	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 0.0%																																															
3	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 0.0%																																															
4	0 0.0%	0 0.0%	4 0.8%	96 19.2%	0 0.0%	100 4.0%																																															
5	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	100 0.0%																																															
Column Total	100 0.0%	100 0.0%	104 3.8%	96 0.0%	100 0.0%	400 0.8%																																															
Lineal	6.3	<table border="1"> <caption>Confusion Matrix</caption> <tr><th>Output Class \ Target Class</th><th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th><th>5</th><th>Row Total</th></tr> <tr><th>1</th><td>100 20.0%</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>100 0.0%</td></tr> <tr><th>2</th><td>0 0.0%</td><td>100 20.0%</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>100 0.0%</td></tr> <tr><th>3</th><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>100 20.0%</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>100 0.0%</td></tr> <tr><th>4</th><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>4 0.8%</td><td>96 19.2%</td><td>0 0.0%</td><td>100 4.0%</td></tr> <tr><th>5</th><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>100 20.0%</td><td>100 0.0%</td></tr> <tr><th>Column Total</th><td>100 0.0%</td><td>100 0.0%</td><td>104 3.8%</td><td>96 0.0%</td><td>100 0.0%</td><td>400 0.8%</td></tr> </table>	Output Class \ Target Class	1	2	3	4	5	Row Total	1	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 0.0%	2	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 0.0%	3	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 0.0%	4	0 0.0%	0 0.0%	4 0.8%	96 19.2%	0 0.0%	100 4.0%	5	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	100 0.0%	Column Total	100 0.0%	100 0.0%	104 3.8%	96 0.0%	100 0.0%	400 0.8%	99.2%	0.612207 segundos
Output Class \ Target Class	1	2	3	4	5	Row Total																																															
1	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 0.0%																																															
2	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 0.0%																																															
3	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 0.0%																																															
4	0 0.0%	0 0.0%	4 0.8%	96 19.2%	0 0.0%	100 4.0%																																															
5	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	100 0.0%																																															
Column Total	100 0.0%	100 0.0%	104 3.8%	96 0.0%	100 0.0%	400 0.8%																																															

Al utilizar una MSV one vs all en configuración lineal, la configuración que obtuvo mayor porcentaje de clasificación (99.2%) fue de pendiente 5.3, con un tiempo de clasificación de 0.599672 segundos

A continuación, se creó la MSV con un kernel polinomial variando el orden de su polinomio hasta encontrar el máximo porcentaje de acierto posible, lo cual se muestra en la Tabla 28.

Tabla 28 Configuración One vs All - Kernel Polinomial

Kernel	Orden polinomio	Matriz de confusión	% de Acierto	Tiempo																																																								
Polinomial	2	<table border="1"> <caption>Confusion Matrix</caption> <tr><td>Output Class</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td></td></tr> <tr><td>1</td><td>100 20.0%</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>100% 0.0%</td></tr> <tr><td>2</td><td>7 1.4%</td><td>93 18.6%</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>93.0% 7.0%</td></tr> <tr><td>3</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>100 20.0%</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>100% 0.0%</td></tr> <tr><td>4</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>4 0.8%</td><td>95 19.0%</td><td>1 0.2%</td><td>95.0% 5.0%</td></tr> <tr><td>5</td><td>3 0.6%</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>97 19.4%</td><td>97.0% 3.0%</td></tr> <tr><td></td><td>90.9% 9.1%</td><td>100% 0.0%</td><td>96.2% 3.8%</td><td>100% 0.0%</td><td>99.0% 1.0%</td><td>97.0% 3.0%</td></tr> <tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>Target Class</td></tr> </table>	Output Class	1	2	3	4	5		1	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%	2	7 1.4%	93 18.6%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	93.0% 7.0%	3	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%	4	0 0.0%	0 0.0%	4 0.8%	95 19.0%	1 0.2%	95.0% 5.0%	5	3 0.6%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	97 19.4%	97.0% 3.0%		90.9% 9.1%	100% 0.0%	96.2% 3.8%	100% 0.0%	99.0% 1.0%	97.0% 3.0%		1	2	3	4	5	Target Class	97%	0.667067 segundos
Output Class	1	2	3	4	5																																																							
1	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%																																																						
2	7 1.4%	93 18.6%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	93.0% 7.0%																																																						
3	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%																																																						
4	0 0.0%	0 0.0%	4 0.8%	95 19.0%	1 0.2%	95.0% 5.0%																																																						
5	3 0.6%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	97 19.4%	97.0% 3.0%																																																						
	90.9% 9.1%	100% 0.0%	96.2% 3.8%	100% 0.0%	99.0% 1.0%	97.0% 3.0%																																																						
	1	2	3	4	5	Target Class																																																						
Polinomial	3	<table border="1"> <caption>Confusion Matrix</caption> <tr><td>Output Class</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td></td></tr> <tr><td>1</td><td>100 20.0%</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>100% 0.0%</td></tr> <tr><td>2</td><td>0 0.0%</td><td>100 20.0%</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>100% 0.0%</td></tr> <tr><td>3</td><td>2 0.4%</td><td>0 0.0%</td><td>98 19.6%</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>98.0% 2.0%</td></tr> <tr><td>4</td><td>1 0.2%</td><td>0 0.0%</td><td>3 0.6%</td><td>95 19.0%</td><td>1 0.2%</td><td>95.0% 5.0%</td></tr> <tr><td>5</td><td>2 0.4%</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>98 19.6%</td><td>98.0% 2.0%</td></tr> <tr><td></td><td>95.2% 4.8%</td><td>100% 0.0%</td><td>97.0% 3.0%</td><td>100% 0.0%</td><td>99.0% 1.0%</td><td>98.2% 1.8%</td></tr> <tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>Target Class</td></tr> </table>	Output Class	1	2	3	4	5		1	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%	2	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%	3	2 0.4%	0 0.0%	98 19.6%	0 0.0%	0 0.0%	98.0% 2.0%	4	1 0.2%	0 0.0%	3 0.6%	95 19.0%	1 0.2%	95.0% 5.0%	5	2 0.4%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	98 19.6%	98.0% 2.0%		95.2% 4.8%	100% 0.0%	97.0% 3.0%	100% 0.0%	99.0% 1.0%	98.2% 1.8%		1	2	3	4	5	Target Class	98.2%	6.058419 segundos
Output Class	1	2	3	4	5																																																							
1	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%																																																						
2	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%																																																						
3	2 0.4%	0 0.0%	98 19.6%	0 0.0%	0 0.0%	98.0% 2.0%																																																						
4	1 0.2%	0 0.0%	3 0.6%	95 19.0%	1 0.2%	95.0% 5.0%																																																						
5	2 0.4%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	98 19.6%	98.0% 2.0%																																																						
	95.2% 4.8%	100% 0.0%	97.0% 3.0%	100% 0.0%	99.0% 1.0%	98.2% 1.8%																																																						
	1	2	3	4	5	Target Class																																																						

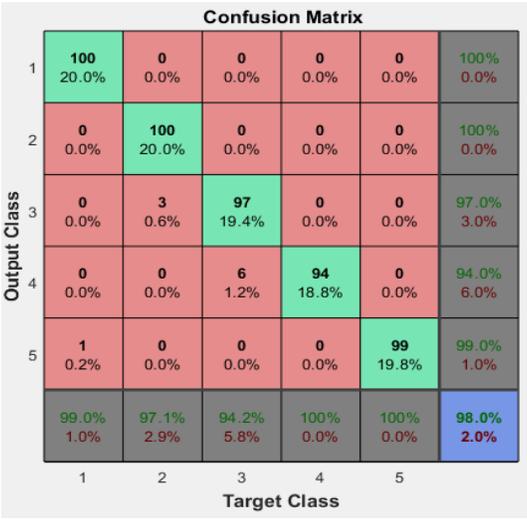
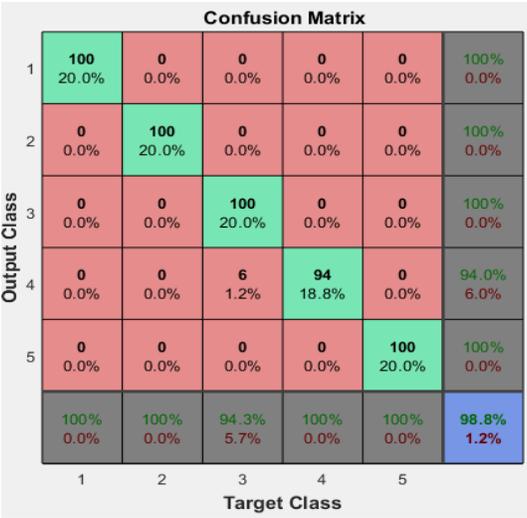
Kernel	Ancho Kernel	Matriz de confusión	% de Acierto	Tiempo																																																	
Polinomial	4	<p style="text-align: center;">Confusion Matrix</p> <table border="1"> <tr> <td>1</td> <td>5 1.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>5 1.0%</td> <td>90 18.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>5.0% 95.0%</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>71 14.2%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>29 5.8%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0.0% 100%</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>4 0.8%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>96 19.2%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0.0% 100%</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>14 2.8%</td> <td>0 0.0%</td> <td>2 0.4%</td> <td>84 16.8%</td> <td>0 0.0%</td> <td>84.0% 16.0%</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>1 0.2%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>98 19.6%</td> <td>1 0.2%</td> <td>1.0% 99.0%</td> </tr> <tr> <td></td> <td>5.3% 94.7%</td> <td>NaN% NaN%</td> <td>0.0% 100%</td> <td>21.2% 78.8%</td> <td>100% 0.0%</td> <td>18.0% 82.0%</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td></td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">Target Class</p>	1	5 1.0%	0 0.0%	5 1.0%	90 18.0%	0 0.0%	5.0% 95.0%	2	71 14.2%	0 0.0%	0 0.0%	29 5.8%	0 0.0%	0.0% 100%	3	4 0.8%	0 0.0%	0 0.0%	96 19.2%	0 0.0%	0.0% 100%	4	14 2.8%	0 0.0%	2 0.4%	84 16.8%	0 0.0%	84.0% 16.0%	5	1 0.2%	0 0.0%	0 0.0%	98 19.6%	1 0.2%	1.0% 99.0%		5.3% 94.7%	NaN% NaN%	0.0% 100%	21.2% 78.8%	100% 0.0%	18.0% 82.0%		1	2	3	4	5		18%	34.14093 segundos
1	5 1.0%	0 0.0%	5 1.0%	90 18.0%	0 0.0%	5.0% 95.0%																																															
2	71 14.2%	0 0.0%	0 0.0%	29 5.8%	0 0.0%	0.0% 100%																																															
3	4 0.8%	0 0.0%	0 0.0%	96 19.2%	0 0.0%	0.0% 100%																																															
4	14 2.8%	0 0.0%	2 0.4%	84 16.8%	0 0.0%	84.0% 16.0%																																															
5	1 0.2%	0 0.0%	0 0.0%	98 19.6%	1 0.2%	1.0% 99.0%																																															
	5.3% 94.7%	NaN% NaN%	0.0% 100%	21.2% 78.8%	100% 0.0%	18.0% 82.0%																																															
	1	2	3	4	5																																																
Polinomial	7	<p style="text-align: center;">Confusion Matrix</p> <table border="1"> <tr> <td>1</td> <td>88 17.6%</td> <td>0 0.0%</td> <td>8 1.6%</td> <td>0 0.0%</td> <td>4 0.8%</td> <td>88.0% 12.0%</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>19 3.8%</td> <td>0 0.0%</td> <td>81 16.2%</td> <td>0.0% 100%</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>7 1.4%</td> <td>0 0.0%</td> <td>93 18.6%</td> <td>7.0% 93.0%</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>38 7.6%</td> <td>0 0.0%</td> <td>62 12.4%</td> <td>0.0% 100%</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>90 18.0%</td> <td>10 2.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0.0% 100%</td> </tr> <tr> <td></td> <td>100% 0.0%</td> <td>NaN% NaN%</td> <td>4.3% 95.7%</td> <td>0.0% 100%</td> <td>0.0% 100%</td> <td>19.0% 81.0%</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td></td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">Target Class</p>	1	88 17.6%	0 0.0%	8 1.6%	0 0.0%	4 0.8%	88.0% 12.0%	2	0 0.0%	0 0.0%	19 3.8%	0 0.0%	81 16.2%	0.0% 100%	3	0 0.0%	0 0.0%	7 1.4%	0 0.0%	93 18.6%	7.0% 93.0%	4	0 0.0%	0 0.0%	38 7.6%	0 0.0%	62 12.4%	0.0% 100%	5	0 0.0%	0 0.0%	90 18.0%	10 2.0%	0 0.0%	0.0% 100%		100% 0.0%	NaN% NaN%	4.3% 95.7%	0.0% 100%	0.0% 100%	19.0% 81.0%		1	2	3	4	5		19%	35.76760 segundos
1	88 17.6%	0 0.0%	8 1.6%	0 0.0%	4 0.8%	88.0% 12.0%																																															
2	0 0.0%	0 0.0%	19 3.8%	0 0.0%	81 16.2%	0.0% 100%																																															
3	0 0.0%	0 0.0%	7 1.4%	0 0.0%	93 18.6%	7.0% 93.0%																																															
4	0 0.0%	0 0.0%	38 7.6%	0 0.0%	62 12.4%	0.0% 100%																																															
5	0 0.0%	0 0.0%	90 18.0%	10 2.0%	0 0.0%	0.0% 100%																																															
	100% 0.0%	NaN% NaN%	4.3% 95.7%	0.0% 100%	0.0% 100%	19.0% 81.0%																																															
	1	2	3	4	5																																																

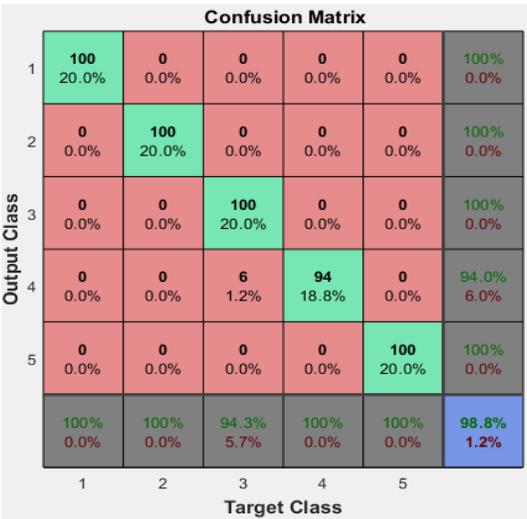
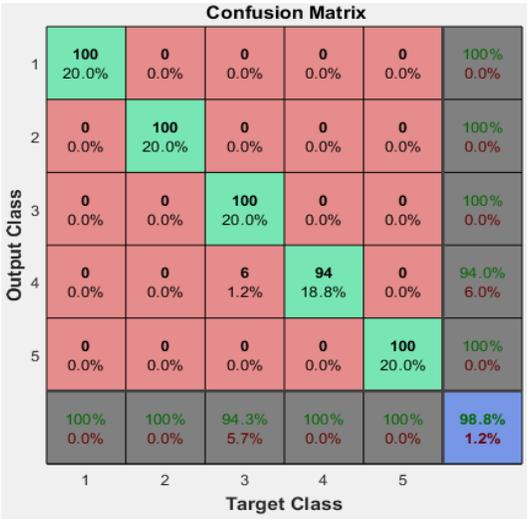
Kernel	Ancho Kernel	Matriz de confusión	% de Acierto	Tiempo																																																	
Polinomial	6	<table border="1"> <caption>Confusion Matrix</caption> <tr><td>1</td><td>99 19.8%</td><td>1 0.2%</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>99.0% 1.0%</td></tr> <tr><td>2</td><td>75 15.0%</td><td>2 0.4%</td><td>23 4.6%</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>2.0% 98.0%</td></tr> <tr><td>3</td><td>98 19.6%</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>2 0.4%</td><td>0 0.0%</td><td>0.0% 100%</td></tr> <tr><td>4</td><td>94 18.8%</td><td>6 1.2%</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>0.0% 100%</td></tr> <tr><td>5</td><td>12 2.4%</td><td>0 0.0%</td><td>88 17.6%</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>0.0% 100%</td></tr> <tr><td></td><td>26.2% 73.8%</td><td>22.2% 77.8%</td><td>0.0% 100%</td><td>0.0% 100%</td><td>NaN% NaN%</td><td>20.2% 79.8%</td></tr> <tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td></td></tr> </table>	1	99 19.8%	1 0.2%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	99.0% 1.0%	2	75 15.0%	2 0.4%	23 4.6%	0 0.0%	0 0.0%	2.0% 98.0%	3	98 19.6%	0 0.0%	0 0.0%	2 0.4%	0 0.0%	0.0% 100%	4	94 18.8%	6 1.2%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0.0% 100%	5	12 2.4%	0 0.0%	88 17.6%	0 0.0%	0 0.0%	0.0% 100%		26.2% 73.8%	22.2% 77.8%	0.0% 100%	0.0% 100%	NaN% NaN%	20.2% 79.8%		1	2	3	4	5		20.2%	40.53427 segundos
1	99 19.8%	1 0.2%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	99.0% 1.0%																																															
2	75 15.0%	2 0.4%	23 4.6%	0 0.0%	0 0.0%	2.0% 98.0%																																															
3	98 19.6%	0 0.0%	0 0.0%	2 0.4%	0 0.0%	0.0% 100%																																															
4	94 18.8%	6 1.2%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0.0% 100%																																															
5	12 2.4%	0 0.0%	88 17.6%	0 0.0%	0 0.0%	0.0% 100%																																															
	26.2% 73.8%	22.2% 77.8%	0.0% 100%	0.0% 100%	NaN% NaN%	20.2% 79.8%																																															
	1	2	3	4	5																																																

Al utilizar MSV one vs all en configuración polinomial, la configuración que obtuvo mayor porcentaje de clasificación (98.2%) fue orden 3, con tiempo de clasificación de 6.058 segundos. Finalmente se creó otra MSV con un kernel gaussiano variando el ancho de kernel hasta encontrar el máximo porcentaje de acierto posible, lo cual se muestra en la tabla 29.

Tabla 29 Configuración One vs All - Kernel Gaussiano

Kernel	Ancho Kernel	Matriz de confusión	% de Acierto	Tiempo																																																	
Gaussiano	5	<table border="1"> <caption>Confusion Matrix</caption> <tr><td>1</td><td>96 19.2%</td><td>4 0.8%</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>96.0% 4.0%</td></tr> <tr><td>2</td><td>0 0.0%</td><td>100 20.0%</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>100% 0.0%</td></tr> <tr><td>3</td><td>0 0.0%</td><td>24 4.8%</td><td>76 15.2%</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>76.0% 24.0%</td></tr> <tr><td>4</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>6 1.2%</td><td>94 18.8%</td><td>0 0.0%</td><td>94.0% 6.0%</td></tr> <tr><td>5</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>0 0.0%</td><td>100 20.0%</td><td>100% 0.0%</td></tr> <tr><td></td><td>100% 0.0%</td><td>78.1% 21.9%</td><td>92.7% 7.3%</td><td>100% 0.0%</td><td>100% 0.0%</td><td>93.2% 6.8%</td></tr> <tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td></td></tr> </table>	1	96 19.2%	4 0.8%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	96.0% 4.0%	2	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%	3	0 0.0%	24 4.8%	76 15.2%	0 0.0%	0 0.0%	76.0% 24.0%	4	0 0.0%	0 0.0%	6 1.2%	94 18.8%	0 0.0%	94.0% 6.0%	5	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	100% 0.0%		100% 0.0%	78.1% 21.9%	92.7% 7.3%	100% 0.0%	100% 0.0%	93.2% 6.8%		1	2	3	4	5		93.2%	0.730558 segundos
1	96 19.2%	4 0.8%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	96.0% 4.0%																																															
2	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%																																															
3	0 0.0%	24 4.8%	76 15.2%	0 0.0%	0 0.0%	76.0% 24.0%																																															
4	0 0.0%	0 0.0%	6 1.2%	94 18.8%	0 0.0%	94.0% 6.0%																																															
5	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	100% 0.0%																																															
	100% 0.0%	78.1% 21.9%	92.7% 7.3%	100% 0.0%	100% 0.0%	93.2% 6.8%																																															
	1	2	3	4	5																																																

Kernel	Ancho Kernel	Matriz de confusión	% de Acierto	Tiempo																																																								
Gaussiano	10	 <p>Confusion Matrix</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Output Class</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>1</th> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100% 0.0%</td> </tr> <tr> <th>2</th> <td>0 0.0%</td> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100% 0.0%</td> </tr> <tr> <th>3</th> <td>0 0.0%</td> <td>3 0.6%</td> <td>97 19.4%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>97.0% 3.0%</td> </tr> <tr> <th>4</th> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>6 1.2%</td> <td>94 18.8%</td> <td>0 0.0%</td> <td>94.0% 6.0%</td> </tr> <tr> <th>5</th> <td>1 0.2%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>99 19.8%</td> <td>99.0% 1.0%</td> </tr> <tr> <th></th> <td>99.0% 1.0%</td> <td>97.1% 2.9%</td> <td>94.2% 5.8%</td> <td>100% 0.0%</td> <td>100% 0.0%</td> <td>98.0% 2.0%</td> </tr> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th></th> </tr> </tbody> </table>	Output Class	1	2	3	4	5		1	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%	2	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%	3	0 0.0%	3 0.6%	97 19.4%	0 0.0%	0 0.0%	97.0% 3.0%	4	0 0.0%	0 0.0%	6 1.2%	94 18.8%	0 0.0%	94.0% 6.0%	5	1 0.2%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	99 19.8%	99.0% 1.0%		99.0% 1.0%	97.1% 2.9%	94.2% 5.8%	100% 0.0%	100% 0.0%	98.0% 2.0%		1	2	3	4	5		98%	0.554745 segundos
Output Class	1	2	3	4	5																																																							
1	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%																																																						
2	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%																																																						
3	0 0.0%	3 0.6%	97 19.4%	0 0.0%	0 0.0%	97.0% 3.0%																																																						
4	0 0.0%	0 0.0%	6 1.2%	94 18.8%	0 0.0%	94.0% 6.0%																																																						
5	1 0.2%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	99 19.8%	99.0% 1.0%																																																						
	99.0% 1.0%	97.1% 2.9%	94.2% 5.8%	100% 0.0%	100% 0.0%	98.0% 2.0%																																																						
	1	2	3	4	5																																																							
Gaussiano	15	 <p>Confusion Matrix</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Output Class</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>1</th> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100% 0.0%</td> </tr> <tr> <th>2</th> <td>0 0.0%</td> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100% 0.0%</td> </tr> <tr> <th>3</th> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100% 0.0%</td> </tr> <tr> <th>4</th> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>6 1.2%</td> <td>94 18.8%</td> <td>0 0.0%</td> <td>94.0% 6.0%</td> </tr> <tr> <th>5</th> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100 20.0%</td> <td>100% 0.0%</td> </tr> <tr> <th></th> <td>100% 0.0%</td> <td>100% 0.0%</td> <td>94.3% 5.7%</td> <td>100% 0.0%</td> <td>100% 0.0%</td> <td>98.8% 1.2%</td> </tr> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th></th> </tr> </tbody> </table>	Output Class	1	2	3	4	5		1	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%	2	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%	3	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%	4	0 0.0%	0 0.0%	6 1.2%	94 18.8%	0 0.0%	94.0% 6.0%	5	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	100% 0.0%		100% 0.0%	100% 0.0%	94.3% 5.7%	100% 0.0%	100% 0.0%	98.8% 1.2%		1	2	3	4	5		98.8%	0.651785 segundos
Output Class	1	2	3	4	5																																																							
1	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%																																																						
2	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%																																																						
3	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%																																																						
4	0 0.0%	0 0.0%	6 1.2%	94 18.8%	0 0.0%	94.0% 6.0%																																																						
5	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	100% 0.0%																																																						
	100% 0.0%	100% 0.0%	94.3% 5.7%	100% 0.0%	100% 0.0%	98.8% 1.2%																																																						
	1	2	3	4	5																																																							

Kernel	Ancho Kernel	Matriz de confusión	% de Acierto	Tiempo																																																	
Gaussiano	18	 <p>Confusion Matrix</p> <table border="1"> <tr> <td>1</td> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100% 0.0%</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0 0.0%</td> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100% 0.0%</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100% 0.0%</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>6 1.2%</td> <td>94 18.8%</td> <td>0 0.0%</td> <td>94.0% 6.0%</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100 20.0%</td> <td>100% 0.0%</td> </tr> <tr> <td></td> <td>100% 0.0%</td> <td>100% 0.0%</td> <td>94.3% 5.7%</td> <td>100% 0.0%</td> <td>100% 0.0%</td> <td>98.8% 1.2%</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td></td> </tr> </table> <p>Output Class</p> <p>Target Class</p>	1	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%	2	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%	3	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%	4	0 0.0%	0 0.0%	6 1.2%	94 18.8%	0 0.0%	94.0% 6.0%	5	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	100% 0.0%		100% 0.0%	100% 0.0%	94.3% 5.7%	100% 0.0%	100% 0.0%	98.8% 1.2%		1	2	3	4	5		98.8%	0.854051 segundos
1	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%																																															
2	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%																																															
3	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%																																															
4	0 0.0%	0 0.0%	6 1.2%	94 18.8%	0 0.0%	94.0% 6.0%																																															
5	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	100% 0.0%																																															
	100% 0.0%	100% 0.0%	94.3% 5.7%	100% 0.0%	100% 0.0%	98.8% 1.2%																																															
	1	2	3	4	5																																																
Gaussiano	30	 <p>Confusion Matrix</p> <table border="1"> <tr> <td>1</td> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100% 0.0%</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0 0.0%</td> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100% 0.0%</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100 20.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100% 0.0%</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>6 1.2%</td> <td>94 18.8%</td> <td>0 0.0%</td> <td>94.0% 6.0%</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>0 0.0%</td> <td>100 20.0%</td> <td>100% 0.0%</td> </tr> <tr> <td></td> <td>100% 0.0%</td> <td>100% 0.0%</td> <td>94.3% 5.7%</td> <td>100% 0.0%</td> <td>100% 0.0%</td> <td>98.8% 1.2%</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td></td> </tr> </table> <p>Output Class</p> <p>Target Class</p>	1	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%	2	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%	3	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%	4	0 0.0%	0 0.0%	6 1.2%	94 18.8%	0 0.0%	94.0% 6.0%	5	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	100% 0.0%		100% 0.0%	100% 0.0%	94.3% 5.7%	100% 0.0%	100% 0.0%	98.8% 1.2%		1	2	3	4	5		98.8%	0.679604 segundos
1	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%																																															
2	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%																																															
3	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%																																															
4	0 0.0%	0 0.0%	6 1.2%	94 18.8%	0 0.0%	94.0% 6.0%																																															
5	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100 20.0%	100% 0.0%																																															
	100% 0.0%	100% 0.0%	94.3% 5.7%	100% 0.0%	100% 0.0%	98.8% 1.2%																																															
	1	2	3	4	5																																																

Al utilizar una MSV one vs all en configuración gaussiana, la configuración que obtuvo mayor porcentaje de clasificación (98.8%) fue de ancho de kernel 15, con un tiempo de clasificación de 0.651785 segundos.

3.8 Resultados De Clasificación Por Kernel Utilizado

En la tabla 30 se puede visualizar un resumen de los mejores resultados obtenidos en cada tipo de kernel utilizado en las dos configuraciones de un MSV. Observando que, en ambos casos de estudio, los porcentajes de acierto son muy elevados.

Tabla 30 Resumen de los mejores resultados de cada configuración con su kernel utilizado.

CONFIGURACIÓN ONE VS ONE			
TIPO DE KERNEL	CONFIGURACIÓN KERNEL	% DE ACIERTO	TIEMPO
LINEAL	Pendiente = 5.3	97,80%	0,60052
POLINOMIAL	Orden polinomio = 3	94,30%	0,933932
GAUSSIANA	Kernel =18	97,60%	0,628105
CONFIGURACIÓN ONE VS ALL			
TIPO DE KERNEL	CONFIGURACIÓN KERNEL	% DE ACIERTO	TIEMPO
LINEAL	Pendiente = 5.3	99,20%	0,599672
POLINOMIAL	Orden polinomio = 3	98,20%	6,058419
GAUSSIANA	Kernel =15	98,80%	0,651785

3.9 Resultados Finales De Clasificación

Finalmente, se realizó un resumen de las configuraciones de la MSV, que obtuvieron los porcentajes más altos de acierto, teniendo como resultado que la mejor configuración es de tipo One vs all, con una pendiente de 5.3, en un kernel lineal, con un 99,2% de efectividad en la clasificación. Ver tabla 31.

Tabla 31 Resultados con mayor porcentaje por algoritmo.

TIPO DE CLASIFICACIÓN	KERNEL	CONFIGURACIÓN DE KERNEL	% DE ACIERTO	TIEMPO
ONE VS ONE	Lineal	Pendiente = 5	97.8%	0.681191 s
ONE VS ALL	Lineal	Pendiente = 5.3	99.2%	0.592850 s

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- En la adquisición de datos, se evidenció que, si existe una relación directa entre el movimiento individual de los dedos de la mano, y la activación de tres canales del brazalete MYO, a excepción del dedo meñique, en el que se hizo necesario incluir un cuarto canal, debido a que tenía mucha similitud con los canales activados del dedo medio. Con lo cual concluyo que se discriminan y clasifican los sensores del dispositivo con el movimiento de cada dedo.
- La validación del proceso tuvo resultados exitosos, teniendo como máximo promedio de error en la flexión interfalángica del dedo pulgar con un 8%, que tomando en cuenta las diferencias técnicas entre dispositivos, es un porcentaje aceptable, lo cual benefició la investigación de tal manera que los resultados obtenidos tienen un mayor grado de credibilidad y precisión.
- En cuanto a las máquinas de soporte vectorial y su porcentaje de clasificación de datos, se observó que los mayores valores de clasificación de cada configuración tanto one vs one, como one vs all, fueron muy elevados, teniendo un 97,8% y 99,2% respectivamente, con kernel lineal, de pendientes 5 y 5,3. Siendo estos resultados óptimos para el estudio realizado

Recomendaciones

- El brazalete de adquisición de datos utilizado cuenta con un sin número de ventajas para estudios investigativos de este tipo, es por eso que se recomienda hacer uso de sus otros complementos como son un acelerómetro y un giroscopio, para en conjunto con esta investigación progresar en el estudio de rehabilitadores activos de dedos.
- El estado de los músculos es muy importante a la hora de tomar los datos electromiográficos de los mismos, por lo cual es recomendable tomar descansos de 5 minutos cada 30 muestras obtenidas, con el fin de no fatigar los músculos y obtener mejores resultados.
- Una interfaz para la adquisición es de gran importancia, ya que facilita y optimiza el proceso de adquisición, acondicionamiento y caracterización de las señales, debido a esto, se recomienda para trabajos futuros el mejoramiento de la interfaz presentada en este trabajo incluyendo el proceso de caracterización de la señal en la misma.
- El porcentaje de acierto al final del proceso de clasificación depende mucho de la cantidad de muestras obtenidas de cada movimiento, por lo cual es recomendable realizar una base de datos con un número mayor de muestras para obtener un mejor resultado.
- Obtener de manera precisa las características de una señal electromiográfica es de vital importancia, debido a esto se recomienda acondicionar la señal de una manera correcta.

Bibliografía

- [1] CONADIS, «Registro Nacional de Discapacidades,» 2015.
- [2] A. P. Orts, «La mano admirable. Don del Hombre,» de *Quinta Edicion*, 2015.
- [3] I. N. D. F.-L. I. L. J. R.-F. Alfredo Córdova, «Actividad electromiográfica (EMG) durante el pedaleo, su utilidad en el diagnóstico de la fatiga en ciclistas,» 2017.
- [4] G. M.-R. Eduardo Guzmán-Muñoz, *Electromiografía en las Ciencias de la Rehabilitación*, 2018.
- [5] K. P, « The ABC of EMG: a practical introduction to kinesiological Electromyography.,» pp. 9-15, 2016.
- [6] V. MA, « Electromiografía cinesiología,» 2015.
- [7] J. G. Webster, D. Beebe y J. M. Colkins, *ENCYCLOPEDIA OF MEDICAL DEVICES AND INSTRUMENTATION SEVENTH EDITION*, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2016.
- [8] A. M. y. I. Campanini., «Technical Aspect of Surface Electromyography for Clinicians,» *The Open Rehabilitation Journal*, vol. 3, pp. 100-106, 2014.
- [9] F. A. Cortés, «Introducción a Machine learning,» *Sunqu*, 2016.
- [10] P. -. U. d. I. d. Negocios, «Machine Learning - Inteligencia artificial que esta transformando el mundo,» 2017.
- [11] C. Elkan, «Evaluating Classifiers,» 2015.
- [12] R. A. B. C. J. A. P. C. C. d. I. C. D. Jesús Alejandro Flores Hernández, «ENTRENAMIENTO DE MAQUINAS DE SOPORTE VECTORIAL,» Ciudad del Carmen, Campeche, México, 2013.
- [13] C. G. Martínez, «Máquinas de vector soporte,» 2018.

- [14] V. B.-C. y. A. A.-B. L. Moran Fernandez, «Análisis de estrategias de clasificación multiclase en microarrays: relación con medidas de complejidad,» 2015.
- [15] I. P.-C. J. O. R.-A. I. D. HUITZIL-VELASCO, «Test of a Myo Armband,» *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, vol. 3, nº 10 48-56, 2017.
- [16] I. J. C. C. Moreno, «Desarrollo de prototipo de prótesis de mano emulada en un ambiente virtual.,» pp. 40-43, 2016.
- [17] T. Mark, «MYO SDK MATLAB MEX Wrapper,» [En línea]. Available: <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/55817-myo-sdk-matlab-mex-wrapper>. [Último acceso: 5 11 2018].
- [18] B. M. a. V. Gunjan, «EMG Signals Characterization in Three States of Contraction by Fuzzy Network and Feature Extraction, Forensic and Medical Bioinformatics,» 2015.
- [19] D. S. Hoppenfeld, *Exploración Física de la Columna Vertebral y las Extremidades*, Mexico DF: Editorial El Manual Moderno S.A, 2014.
- [20] H. D. C. Pujota, «ANÁLISIS DE CARACTERÍSTICAS DE SEÑALES ELECTROMIOGRÁFICAS PARA LA DETERMINACIÓN DE MOVIMIENTOS DE UNA MANO,» Ibarra, 2019.
- [21] A. W. Moore, «Cross-validation for detecting and preventing overfitting,» 2017.
- [22] P. Yugsi, «Diseño e implementación del Sistema de control de un rehabilitador pasivo de dedos de la mano.,» Ibarra, 2016.
- [23] D. M. V. G. R. Pinzón, «Caracterización de señales electromiográficas para la discriminación de seis movimientos de la mano.,» 2009.
- [24] M. Andrade, «Diseño y construcción mecánica de un prototipo rehabilitador pasivo de dedos de la mano.,» 2016.
- [25] C. A. R. M. S. B. Damián Jorge Matich, «Redes Neuronales: Conceptos Básicos y Aplicaciones,» Rosario, 2014.

- [26] C. Jarmey, Atlas consiso de los músculos Tomo 6, Barcelona: Paidotribo, 2016.
- [27] J. S. y. J. W. L. Weiss, Why do Electrodiagnostic Studies?, 2014.
- [28] C. J. D. Luca, A practicum on the Use of sEMG Signals in Movement Sciences - Fifth Edition, Boston: Delsys Inc, 2015.
- [29] P. D. S. Margareta Nordin, Biomecánica Básica del Sistema Musculoesquelético - Third Edition, Madrid: McGraw-Hill/Interamericana de España, 2013.
- [30] R. Northrop, Measurement of Electrical Potentials and Magnetic Fields from the Body Surface, Florida, 2017.
- [31] L. C. y. P. P. R. Stefani, «Analog reconfigurable technologies for EMG - Optimized circuit for EMG signal processing,» *Revista Brasileira de Engenharia Biomedica*, vol. 23, nº 2, pp. 153-157, 2015.
- [32] H. U. y. o. Y. Itoh, «Finger curvature movement recognition interface,» *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, vol. 23, 2014.

ANEXOS

ANEXO A

MANUAL DE INSTALACIÓN, CONEXIÓN Y MANEJO DE INTERFAZ.

Para el estudio la de las señales EMG se utilizó la herramienta Matlab r2017b como medio para adquirir las señales y muestras que arroja el brazalete, en una computadora TOSHIBA Intel ® Core™ i7-650U CPU @ 2.5Ghz, con una tarjeta gráfica Nvidia GEFORCE de 1 Gb, memoria RAM de 8 Gb con Windows 10.

Primeramente, debemos instalar el programa propio del brazalete MYO, este lo encontramos en internet totalmente abierto para su descarga y uso en www.myo.com.

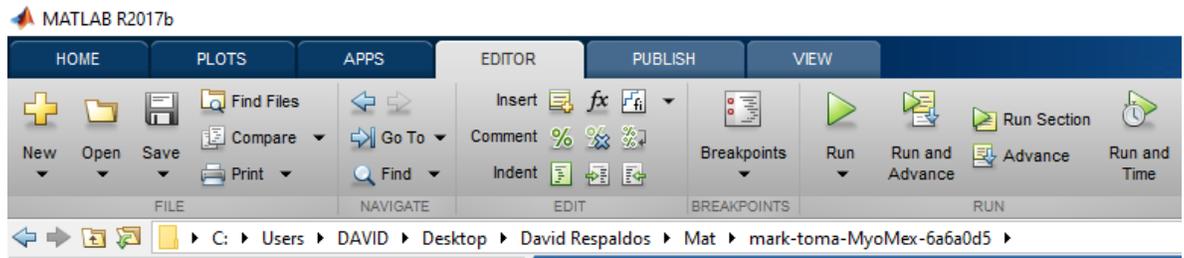
Luego de calibrar y seguir los pasos pertinentes, procedemos a enlazar con Matlab, siguiendo los siguientes pasos:

- 1) Se descarga la librería “Myo SDK MATLAB MEX Wrapper”, propia de Matlab.
- 2) Luego se procede con la descarga del compilador “myo-sdk-win-0.9.0” para el enlace y conexión del dispositivo.
- 3) Hay que tener muy en cuenta que debemos tener los compiladores de c++, actualizados y funcionando en nuestro equipo. Para esto en la ventana de comandos de Matlab escribimos “mex -setup” y comprobamos. En caso de no tenerlo, el procedimiento es descargarlo e instalarlo desde el ícono Add-ons en el apartado “environment”. El compilador es el siguiente:



- 4) Se ha proporcionado una carpeta llamada “mark-toma-MyoMex-6a6a0d5” en la cual se encuentran los archivos de funcionamiento de la interfaz.

- 5) Seguidamente se copia la dirección de dicha carpeta y se coloca la misma en la barra de dirección de búsqueda de Matlab, de la siguiente manera:



- 6) Dentro de esta carpeta se encuentra el archivo “MyoMex.QuickStart”, del cual se debe copiar la dirección del instalador “myo-sdk-win-0.9.0” que previamente se descargó, en la línea de código que se muestra a continuación en letras de color morado.

```
%% Before Using |MyoMex|
% If you decided not to read through |README.txt|, let's at least show you
% the quickest possible way to get started.

install_myo_mex; % adds directories to MATLAB search path
% install_myo_mex save % additionally saves the path

sdk_path = 'C:\Users\DAVID\Desktop\David Respaldos\Mat\myo-sdk-win-0.9.0'; % root path to Myo SDK
build_myo_mex(sdk_path); % builds myo_mex
```

- 7) Para una interacción de datos en tiempo real entre Matlab y el brazalete, así como también para la adquisición de datos Se crearon dos archivos (.fig) el primero, “MyoMexGUI_Monitor.fig” permite realizar y establecer la conexión correcta entre el brazalete Myo y el software de adquisición. El segundo archivo “MyoDataGUI_Monitor.fig” es el responsable de la toma de datos y procesamiento de las señales EMG.
- 8) Al abrir el archivo “MyoMexGUI_Monitor.fig” se visualizará lo siguiente:



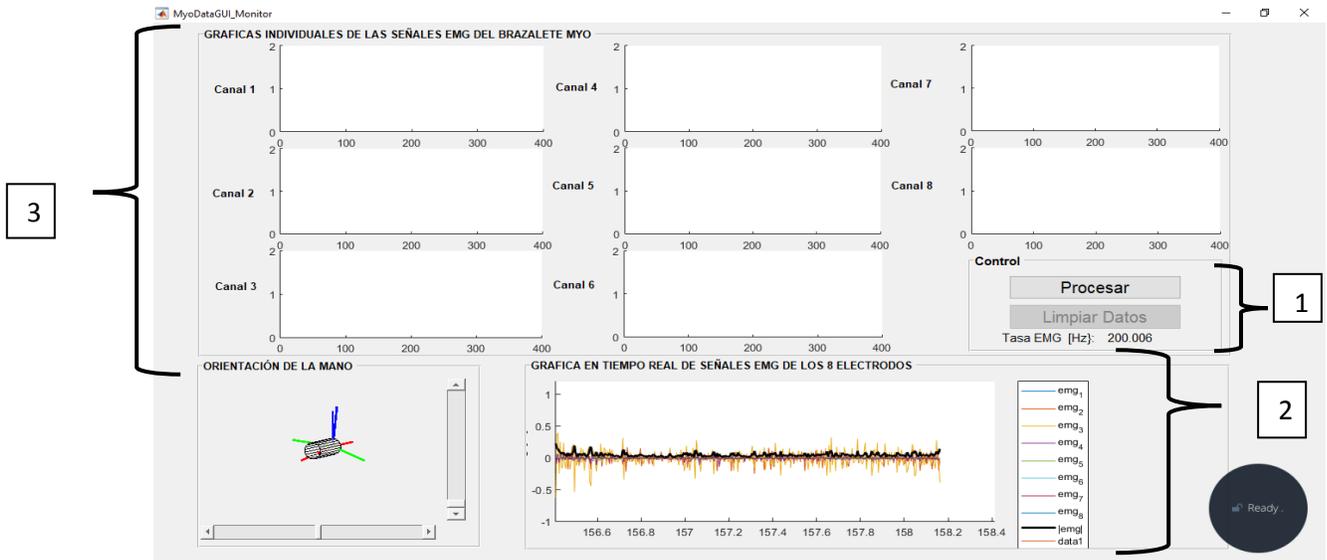
- 9) Al pulsar en el botón “Iniciar Conexión”, si la conexión esta correctamente realizada, se activará esta zona 1:



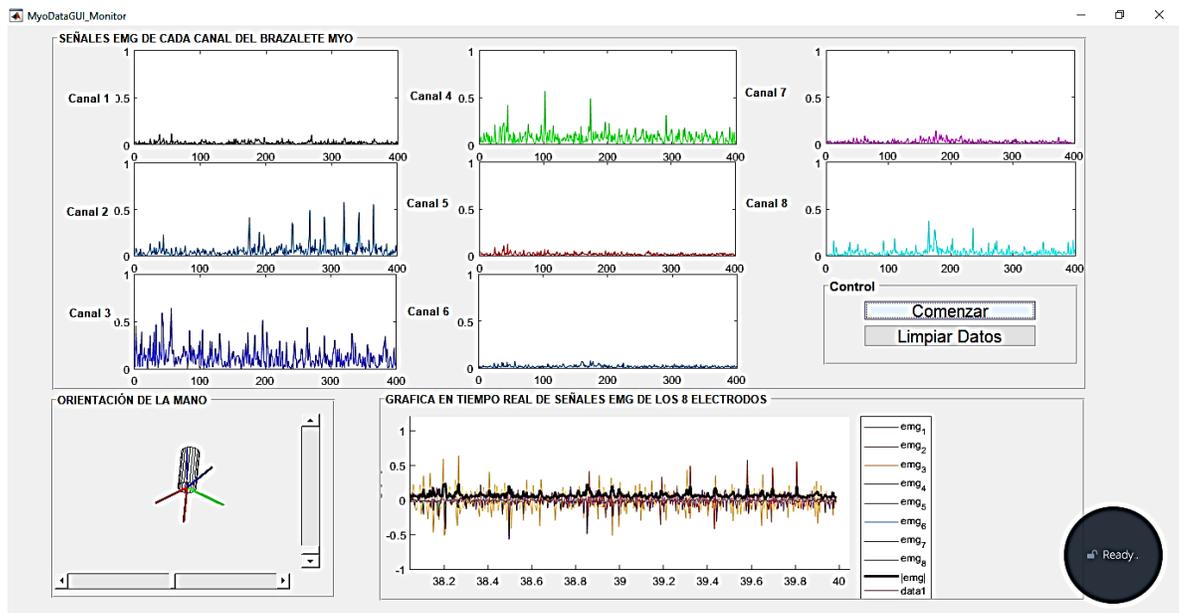
- 10) Dando clic en el recuadro blanco que se encuentra junto al texto “Brazalete Myo”, se ejecuta el segundo archivo automáticamente.
- 11) En el panel 1, se localizan dos botones, el cual “Procesar” permite almacenar los datos obtenidos de las señales EMG, en un archivo (.mat) en la carpeta en la que se encuentra el path de matlab.

12) En el panel 2 se observa una gráfica en tiempo real de las 8 señales electromiográficas enviadas desde el brazalete, estas se graficarán individualmente en los cuadros que se encuentran en la parte superior de la pantalla al momento de dar clic en el botón “Procesar”. Estas señales se encuentran normalizadas, entre el rango de 0 a 1.

13) El panel 3 presenta 8 graficas, de los datos obtenidos individualmente por cada canal (sensor) del brazalete. Cabe mencionar que al graficar se aplicó un filtro de rectificación para obtener solo valores positivos.



14) Una vez tomado los datos, se obtiene una presentación de este tipo:



- 15) Para desconectar la interfaz, en la Interfaz 1 mostrada en el paso 9, se da clic en el botón “Cancelar conexión” luego de haber cerrado la interfaz de adquisición.

ANEXO B

CÓDIGO DE LA INTERFAZ DE CONEXIÓN ENTRE EL COMPUTADOR Y EL BRAZALETE MYO

```
function varargout = MyoMexGUI_Monitor(varargin)
% MYOMEXGUI_MONITOR MATLAB code for MyoMexGUI_Monitor.fig
%     MYOMEXGUI_MONITOR, by itself, creates a new MYOMEXGUI_MONITOR or
raises the existing
%     singleton*.
%
%     H = MYOMEXGUI_MONITOR returns the handle to a new
MYOMEXGUI_MONITOR or the handle to
%     the existing singleton*.
%
%     MYOMEXGUI_MONITOR('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls
the local
%     function named CALLBACK in MYOMEXGUI_MONITOR.M with the given
input arguments.
%
%     MYOMEXGUI_MONITOR('Property','Value',...) creates a new
MYOMEXGUI_MONITOR or raises the
%     existing singleton*. Starting from the left, property value pairs
are
%     applied to the GUI before MyoMexGUI_Monitor_OpeningFcn gets
called. An
%     unrecognized property name or invalid value makes property
application
%     stop. All inputs are passed to MyoMexGUI_Monitor_OpeningFcn via
varargin.
%
%     *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only
one
%     instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help MyoMexGUI_Monitor

% Last Modified by GUIDE v2.5 17-Feb-2019 01:32:28

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @MyoMexGUI_Monitor_OpeningFcn, ...
```

```

        'gui_OutputFcn', @MyoMexGUI_Monitor_OutputFcn, ...
        'gui_LayoutFcn', [], ...
        'gui_Callback', []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargin
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Se ejecuta justo antes de que MyoMexGUI_Monitor se haga visible.
function MyoMexGUI_Monitor_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles,
varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to MyoMexGUI_Monitor (see VARARGIN)

handles.myoMex = []; % open myo mex library
handles.myoDataFig = nan(1,2); % varargin

% Choose default command line output for MyoMexGUI_Monitor
handles.output = hObject;

% Actualización de estructura
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes MyoMexGUI_Monitor wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = MyoMexGUI_Monitor_OutputFcn(hObject, eventdata,
handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% Funcion para llamar al brazalete
function myoDataCloseCallback(hObject,id,handles)

if id==1
    set(handles.cb_my_data_1,'value',0);
elseif id==2

```

```

    set(handles.cb_my_data_2,'value',0);
end

handles.myoDataFig(id) = nan;

guidata(hObject,handles);

function cb_my_data_Callback(hObject, eventdata, id, handles)

if get(hObject,'value')
    % spawn figure
    handles.myoDataFig(id) = MyoDataGUI_Monitor(...
        handles.myoMex.myoData(id),...
        @()myoDataCloseCallback(hObject,id,handles));
else
    % close figure
    close(handles.myoDataFig(id));
    handles.myoDataFig(id) = nan;
end

guidata(hObject,handles);

% --- Se ejecuta al presionar el botón en cb_my_data_1.
function cb_my_data_1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to cb_my_data_1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of cb_my_data_1
cb_my_data_Callback(hObject, eventdata, 1, handles);

% --- Se ejecuta al presionar el botón en cb_my_data_2.
function cb_my_data_2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to cb_my_data_2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of cb_my_data_2
cb_my_data_Callback(hObject, eventdata, 2, handles);

function et_count_myos_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to et_count_myos (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of et_count_myos as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of et_count_myos as
a double
str = get(hObject,'string');
val = str2double(str);
if isnan(val) || ~any(val==[1,2])

```

```

set(hObject,'string','1');
wstr = sprintf('Number of Myos must be a numeric scalar in
[1,2].\n\nYou entered '%s'.\n\nReverting to default (1).',str),...
warndlg(wstr,'Bad value','modal');
end

% --- Se ejecuta durante la creación de objetos, después de establecer
todas las propiedades.
function et_count_myos_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to et_count_myos (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Se ejecuta al presionar el botón en pb_init.
% Iniciar la conexión computadora - brazalete.
function pb_init_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pb_init (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

countMyos = str2double(get(handles.et_count_myos,'string'));

switch get(hObject,'string')
case 'Iniciar Conexión'
    try
        handles.myoMex = MyoMex(countMyos);
    catch err
        warndlg(...
            sprintf('MyoMex(%d) failed with
message:\n\n'''\n',countMyos,err.message),...
            'MyoMex Initialization Error','modal');
        return;
    end

    % aquí todo inicializó bien
    set(handles.cb_myo_data_1,'enable','on');
    if countMyos>1
        set(handles.cb_myo_data_2,'enable','on');
    end

    set(handles.et_count_myos,'enable','off');
    set(hObject,'string','Cancelar Conexión');

case 'Cancelar Conexión'.

```

```

handles.myoMex.delete();
handles.myoMex = [];

% close figures if they exist
% kill myoData monitor figures
for ii=1:length(handles.myoDataFig)
    if isnan(handles.myoDataFig(ii)), continue; end
    close(handles.myoDataFig(ii));
    handles.myoDataFig(ii) = nan;
end

% desactiva los recuadros blancos de activación del brazalete
set(handles.cb_my_data_1, 'value', 0, 'enable', 'off');
set(handles.cb_my_data_2, 'value', 0, 'enable', 'off');

% habilita el contador de brazaletes
set(handles.et_count_myos, 'enable', 'on');

set(hObject, 'string', 'Iniciar Conexión');

end

guidata(hObject, handles);

% --- Executes when user attempts to close figure1.
function figure1_CloseRequestFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to figure1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
if ~isempty(handles.myoMex)
    handles.myoMex.delete();
end

% elimina los datos creados por cada conexión.
for ii=1:length(handles.myoDataFig)
    if isnan(handles.myoDataFig(ii)), continue; end
    close(handles.myoDataFig(ii));
    delete(handles.myoDataFig(ii));
end

% Hint: delete(hObject) closes the figure
delete(hObject);

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function utn_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to utn (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: place code in OpeningFcn to populate utn
axes (hObject)

```

```
imshow('logo utn.png')
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.  
function meca_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)  
% hObject    handle to meca (see GCBO)  
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB  
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns  
called  
  
% Hint: place code in OpeningFcn to populate meca  
axes (hObject)  
imshow('sello.jpeg')
```

ANEXO C

CODIGO DE LA INTERFAZ DE ADQUISICIÓN DE DATOS DE LOS 8 CANALES DEL BRAZALETE

```
function varargout = MyoDataGUI_Monitor(varargin)  
% MYODATAGUI_MONITOR MATLAB code for MyoDataGUI_Monitor.fig  
%     MYODATAGUI_MONITOR, by itself, creates a new MYODATAGUI_MONITOR or  
%     raises the existing  
%     singleton*.  
%  
%     H = MYODATAGUI_MONITOR returns the handle to a new  
%     MYODATAGUI_MONITOR or the handle to  
%     the existing singleton*.  
%  
%     MYODATAGUI_MONITOR('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls  
%     the local  
%     function named CALLBACK in MYODATAGUI_MONITOR.M with the given  
%     input arguments.  
%  
%     MYODATAGUI_MONITOR('Property','Value',...) creates a new  
%     MYODATAGUI_MONITOR or raises the  
%     existing singleton*. Starting from the left, property value pairs  
%     are  
%     applied to the GUI before MyoDataGUI_Monitor_OpeningFcn gets  
%     called. An  
%     unrecognized property name or invalid value makes property  
%     application  
%     stop. All inputs are passed to MyoDataGUI_Monitor_OpeningFcn via  
%     varargin.  
%  
%     *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only  
%     one  
%     instance to run (singleton)".  
%  
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES  
  
% Edit the above text to modify the response to help MyoDataGUI_Monitor
```

```

% Last Modified by GUIDE v2.5 14-Jan-2019 10:25:06

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 0;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
    'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
    'gui_OpeningFcn', @MyoDataGUI_Monitor_OpeningFcn, ...
    'gui_OutputFcn',  @MyoDataGUI_Monitor_OutputFcn, ...
    'gui_LayoutFcn',  [], ...
    'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargin
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT
% -----

% --- Se ejecuta justo antes de que MyoDataGUI_Monitor se haga visible.
function MyoDataGUI_Monitor_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles,
varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to MyoDataGUI_Monitor (see VARARGIN)

% constantes predefinidas se obtienen de la librería de Myo en Matlab
handles.const.STRIP_TIME = 2;
handles.const.UPDATE_RATE = 25; % Hz
handles.const.UPDATE_START_DELAY = 1; % s
handles.const.STREAMING_DATA_TIME = 0.020; % [s] (50 Hz)
handles.const.STREAMING_FRAME_TIME = 0.040; % [s] (25 Hz)

handles.const.QUAT_STRIP_YLIM = [-1,1];
handles.const.GYRO_STRIP_YLIM = 2000*[-1,1];
handles.const.ACCEL_STRIP_YLIM = 2*[-1,1];
handles.const.EMG_STRIP_YLIM = [-1,1.2];

handles.const.POSE_YDATA_VALUE = 1.1;
handles.const.NUM_POSES = 5;

handles.const.ROTATE_OFFSET = -135;

% entradas de procesos
argv = varargin;
handles.myoData = []; % apertura de librería myo data
handles.closeFunc = [];

```

```

assert(length(argv)>0 && isa(argv{1},'MyoData') && isscalar(argv{1}),...
    'Input (1) must be a scalar MyoData object');
handles.myoData = argv{1};
if length(argv)>1 && isa(argv{2},'function_handle')
    handles.closeFunc = argv{2};
end

% configurar la orientación del brazalete
set(handles.ax_quat_orientation,...
    'nextplot','add',...
    'xlim',[-1,1],'ylim',[-1,1],'zlim',[-1,1],...
    'xtick',[],'ytick',[],'ztick',[],...
    'xcolor',get(hObject,'color'),...
    'ycolor',get(hObject,'color'),...
    'zcolor',get(hObject,'color'),...
    'dataaspectratio',[1,1,1],...
    'color',get(hObject,'color'));
view(handles.ax_quat_orientation,...
    -handles.const.ROTATE_OFFSET,30);

hp.hx_global = hgtransform('parent',handles.ax_quat_orientation);
hp.hx_body = hgtransform('parent',hp.hx_global);

% Graficar orientación del brazalete en la interfaz
% [xb,yb,zb] = sphere(50);
[xb,yb,zb] = cylinder(0.2,20);
hbody = surf(-zb,yb,xb,'parent',hp.hx_body,...
    'facecolor','w',...
    'facealpha',0.8,...
    'edgecolor','k');

% ejes de coordenadas globales
plot3(handles.ax_quat_orientation,...
    [0,1],[0,0],[0,0],'r','linewidth',2,'parent',hp.hx_global);
plot3(handles.ax_quat_orientation,...
    [0,0],[0,1],[0,0],'g','linewidth',2,'parent',hp.hx_global);
plot3(handles.ax_quat_orientation,...
    [0,0],[0,0],[0,1],'b','linewidth',2,'parent',hp.hx_global);
% body coordinate axes
plot3(handles.ax_quat_orientation,...
    [0,1],[0,0],[0,0],'r','linewidth',2,'parent',hp.hx_body);
plot3(handles.ax_quat_orientation,...
    [0,0],[0,1],[0,0],'g','linewidth',2,'parent',hp.hx_body);
plot3(handles.ax_quat_orientation,...
    [0,0],[0,0],[0,1],'b','linewidth',2,'parent',hp.hx_body);
% TODO plot other body representation

% configurar gráficos de acelerómetro y giroscópio
set(handles.ax_quat_strip,...
    'nextplot','add',...
    'xtick',[],...
    'xlim',[0,handles.const.STRIP_TIME],...
    'ylim',handles.const.QUAT_STRIP_YLIM);
hp.quat(1) = plot(handles.ax_quat_strip,0,0,'k');

```

```

hp.quat(2) = plot(handles.ax_quat_strip,0,0,'r');
hp.quat(3) = plot(handles.ax_quat_strip,0,0,'g');
hp.quat(4) = plot(handles.ax_quat_strip,0,0,'b');
ylabel(handles.ax_quat_strip,'quat');

% configurar giroscopio
set(handles.ax_gyro_strip,...
    'nextplot','add',...
    'xtick',[],...
    'xlim',[0,handles.const.STRIP_TIME],...
    'ylim',handles.const.GYRO_STRIP_YLIM);
hp.gyro(1) = plot(handles.ax_gyro_strip,0,0,'r');
hp.gyro(2) = plot(handles.ax_gyro_strip,0,0,'g');
hp.gyro(3) = plot(handles.ax_gyro_strip,0,0,'b');
hp.gyro(4) = plot(handles.ax_gyro_strip,0,0,'k','linewidth',2);

% configurar acelerómetro

set(handles.ax_accel_strip,...
    'nextplot','add',...
    'xtick',[],...
    'xlim',[0,handles.const.STRIP_TIME],...
    'ylim',handles.const.ACCEL_STRIP_YLIM);
hp.accel(1) = plot(handles.ax_accel_strip,0,0,'r');
hp.accel(2) = plot(handles.ax_accel_strip,0,0,'g');
hp.accel(3) = plot(handles.ax_accel_strip,0,0,'b');
hp.accel(4) = plot(handles.ax_accel_strip,0,0,'k','linewidth',2);
ylabel(handles.ax_accel_strip,'accel [g]');

% configurar lectura de señales de los 8 canales

set(handles.ax_emg_strip,...
    'nextplot','add',...
    'xlim',[0,handles.const.STRIP_TIME],...
    'ylim',handles.const.EMG_STRIP_YLIM);
hp.emg = plot(handles.ax_emg_strip,0,zeros(1,8));
hp.emg(end+1) = plot(handles.ax_emg_strip,0,0,'-k','linewidth',2);
ylabel(handles.ax_emg_strip,'emg [%]');
legend(handles.ax_emg_strip,...

'emg_1','emg_2','emg_3','emg_4','emg_5','emg_6','emg_7','emg_8','|emg|',
'location','eastoutside');
hp.pose = plot(handles.ax_emg_strip,...
    -1,...
    zeros(1,handles.const.NUM_POSES));
for ii = 1:length(hp.pose)
    set(hp.pose(ii),'markerfacecolor',get(hp.pose(ii),'markeredgecolor'));
end

% configuracion del tamaño de las gráficas por cada canal del brazalete

set(handles.axes8,...
    'xlim',[0,400],...
    'ylim',[0,2]);

set(handles.axes9,...

```

```

    'xlim',[0,400],...
    'ylim',[0,2]);

set(handles.axes10,...
    'xlim',[0,400],...
    'ylim',[0,2]);

set(handles.axes11,...
    'xlim',[0,400],...
    'ylim',[0,2]);

set(handles.axes12,...
    'xlim',[0,400],...
    'ylim',[0,2]);

set(handles.axes13,...
    'xlim',[0,400],...
    'ylim',[0,2]);

set(handles.axes14,...
    'xlim',[0,400],...
    'ylim',[0,2]);

set(handles.axes15,...
    'xlim',[0,400],...
    'ylim',[0,2]);

% ajustar todos los ejes al ancho de los ejes menos anchos
tmp = [...
    handles.ax_gyro_strip,...
    handles.ax_accel_strip,...
    handles.ax_emg_strip];
p = cell2mat(get(tmp,'position'));
w = min(p(:,3));
for ii = 1:length(tmp)
    % includes static legend hacks from undocumented matlab...
    % http://undocumentedmatlab.com/blog/plot-performance
    set(tmp(ii),...
        'position',[p(ii,1:2),w,p(ii,4)],...
        'drawmode','fast',...
        'xlimmode','manual','ylimmode','manual');%,...
    %'LegendColorbarListeners',[]);
    setappdata(tmp(ii),'LegendColorbarManualSpace',1);
    setappdata(tmp(ii),'LegendColorbarReclaimSpace',1);
end

hp.image_pose = imshow(zeros(225,225,3),...
    'parent',handles.ax_image_pose);
set(hp.image_pose,'visible','off');

handles.hp = hp;

handles.update_timer = timer(...
    'name','MyoMexGUI_Monitor_update_timer',...

```

```

    'busymode','drop',...
    'executionmode','fixedrate',...
    'period',1/handles.const.UPDATE_RATE,...
    'startdelay',handles.const.UPDATE_START_DELAY,...
    'timerfcn',@(src,evt)updateFigureCallback(src,evt,handles));
start(handles.update_timer);
handles.myoData.startStreaming();

% Choose default command line output for MyoDataGUI_Monitor
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes MyoDataGUI_Monitor wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = MyoDataGUI_Monitor_OutputFcn(hObject, eventdata,
handles)
% varargout cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject handle to figure
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

function updateFigureCallback(~,~,handles)

m = handles.myoData;
hp = handles.hp;

% Obtencion de los datos para dibujar en las gráficas
% lectura de datos arrojados por el acelerómetro y giroscopio
timeIMU = m.timeIMU_log;
iiIMU = find(timeIMU>=(timeIMU(end)-handles.const.STRIP_TIME));
tIMU = timeIMU(iiIMU);

% Se guardan los datos de acelerometro y giroscopio en una variable.
q = m.quat_log(iiIMU,:);
p = m.pose_log(iiIMU,:);

if get(handles.rb_fixed,'value')
    g = m.gyro_fixed_log(iiIMU,:);
    a = m.accel_fixed_log(iiIMU,:);
else
    g = m.gyro_log(iiIMU,:);
    a = m.accel_log(iiIMU,:);

```

```

end

set (hp.quat (1), 'xdata', tIMU, 'ydata', q(:,1));
set (hp.quat (2), 'xdata', tIMU, 'ydata', q(:,2));
set (hp.quat (3), 'xdata', tIMU, 'ydata', q(:,3));
set (hp.quat (4), 'xdata', tIMU, 'ydata', q(:,4));

set (hp.gyro (1), 'xdata', tIMU, 'ydata', g(:,1));
set (hp.gyro (2), 'xdata', tIMU, 'ydata', g(:,2));
set (hp.gyro (3), 'xdata', tIMU, 'ydata', g(:,3));
set (hp.gyro (4), 'xdata', tIMU, 'ydata', sqrt (sum (g'.^2)) ');

set (hp.accel (1), 'xdata', tIMU, 'ydata', a(:,1));
set (hp.accel (2), 'xdata', tIMU, 'ydata', a(:,2));
set (hp.accel (3), 'xdata', tIMU, 'ydata', a(:,3));
set (hp.accel (4), 'xdata', tIMU, 'ydata', sqrt (sum (a'.^2)) '-1');

% Actualización de los datos de las señales obtenidos por los canales.
timeEMG = m.timeEMG_log;
if ~isempty (timeEMG)
    iiEMG = find (timeEMG >= (timeEMG (end) - handles.const.STRIP_TIME));
    tEMG = timeEMG (iiEMG);
    e = m.emg_log (iiEMG, :);

    for ii = 1: size (e, 2) - 1
        set (hp.emg (ii), 'xdata', tEMG, 'ydata', e (:, ii));
    end
    set (hp.emg (end), 'xdata', tEMG, 'ydata', sqrt (sum (e'.^2) / 8) ');
end

% Actualizar limite de los ejes de todos los graficos.
tmp = [...
    handles.ax_quat_strip, ...
    handles.ax_gyro_strip, ...
    handles.ax_accel_strip, ...
    handles.ax_emg_strip];
set (tmp, 'xlim', m.timeIMU - [handles.const.STRIP_TIME, 0]);

% Actualizar la vista de la orientación de la mano
Rcurr = m.rot;

R = Rcurr;

H = [R, [0; 0; 0]; 0, 0, 0, 1];
set (hp.hx_body, 'matrix', H);

set (handles.st_emg_rate, 'string', sprintf ('%7.3f', m.rateEMG));

```

```
drawnow;%( 'EXPOSE' );
```

```
% --- Se ejecuta al presionar el botón en pb_stream.
```

```
function pb_stream_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
% hObject    handle to pb_stream (see GCBO)
```

```
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
```

```
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
str = get(hObject, 'string');
```

```
m = handles.myoData;
```

```
hp = handles.hp;
```

```
switch str
```

```
    case 'Comenzar'% Empieza la lectura de datos en tiempo real
```

```
        start(handles.update_timer);
```

```
        handles.myoData.startStreaming();
```

```
        set(handles.pb_clear, 'enable', 'off');
```

```
        set(hObject, 'string', 'Procesar');
```

```
    case 'Procesar'% Guarda los datos de cada gráfica
```

```
        handles.myoData.stopStreaming();
```

```
        stop(handles.update_timer);
```

```
        set(handles.pb_clear, 'enable', 'on');
```

```
        set(hObject, 'string', 'Comenzar');
```

```
timeEMG = m.timeEMG_log;
```

```
if ~isempty(timeEMG)
```

```
iiEMG = find(timeEMG>=(timeEMG(end)-handles.const.STRIP_TIME));
```

```
tEMG = timeEMG(iiEMG);
```

```
e = m.emg_log(iiEMG,:);
```

```
x=1:401;
```

```
y=1:400;
```

```
%grafica canal 1
```

```
a=length(e(:,1));
```

```
if a==401
```

```
plot(handles.axes8,x',abs(e(:,1)), 'k')
```

```
set(handles.axes8, 'xlim', [0 400], 'ylim', [0 1]);
```

```
else
```

```
    plot(handles.axes8,y',abs(e(:,1)), 'k')
```

```
        set(handles.axes8, 'xlim', [0 400], 'ylim', [0 1]);
```

```
end
```

```
%grafica canal 2
```

```
    b=length(e(:,2));
```

```
if b==401
```

```
plot(handles.axes9,x',abs(e(:,2)))
```

```
set(handles.axes9, 'xlim', [0 400], 'ylim', [0 1]);
```

```
else
```

```
    plot(handles.axes9,y',abs(e(:,2)))
```

```
        set(handles.axes9, 'xlim', [0 400], 'ylim', [0 1]);
```

```
end
```

```
%grafica canal 3
```

```
    c=length(e(:,3));
```

```

if c==401
plot(handles.axes10,x',abs(e(:,3)), 'b')
set(handles.axes10, 'xlim', [0 400], 'ylim', [0 1]);
else
plot(handles.axes10,y',abs(e(:,3)), 'b')
set(handles.axes10, 'xlim', [0 400], 'ylim', [0 1]);
end
%grafica canal 4
d=length(e(:,4));
if d==401
plot(handles.axes11,x',abs(e(:,4)), 'g')
set(handles.axes11, 'xlim', [0 400], 'ylim', [0 1]);
else
plot(handles.axes11,y',abs(e(:,4)), 'g')
set(handles.axes11, 'xlim', [0 400], 'ylim', [0 1]);
end
%grafica canal 5
f=length(e(:,5));
if f==401
plot(handles.axes12,x',abs(e(:,5)), 'r')
set(handles.axes12, 'xlim', [0 400], 'ylim', [0 1]);
else
plot(handles.axes12,y',abs(e(:,5)), 'r')
set(handles.axes12, 'xlim', [0 400], 'ylim', [0 1]);
end
%grafica canal 6
g=length(e(:,6));
if g==401
plot(handles.axes13,x',abs(e(:,6)))
set(handles.axes13, 'xlim', [0 400], 'ylim', [0 1]);
else
plot(handles.axes13,y',abs(e(:,6)))
set(handles.axes13, 'xlim', [0 400], 'ylim', [0 1]);
end
%grafica canal 7
k=length(e(:,7));
if k==401
plot(handles.axes14,x',abs(e(:,7)), 'm')
set(handles.axes14, 'xlim', [0 400], 'ylim', [0 1]);
else
plot(handles.axes14,y',abs(e(:,7)), 'm')
set(handles.axes14, 'xlim', [0 400], 'ylim', [0 1]);
end
%grafica canal 8

l=length(e(:,8));
if l==401
plot(handles.axes15,x',abs(e(:,8)), 'c')
set(handles.axes15, 'xlim', [0 400], 'ylim', [0 1]);
else
plot(handles.axes15,y',abs(e(:,8)), 'c')
set(handles.axes15, 'xlim', [0 400], 'ylim', [0 1]);
end

```

```

%actualiza datos de grafica en RT
for ii = 1:size(e,2)-1
set (hp.emg(ii), 'xdata', tEMG, 'ydata', e(:,ii));
end
set (hp.emg(end), 'xdata', tEMG, 'ydata', sqrt(sum(e'.^2)/8));
end

[~,struc] = fileattrib
PathCurrent = struc.Name
dt = datestr(now, 'mm,dd,yyyy HH,MM,SS');
FolderName = ['exp' dt];
mkdir([PathCurrent '/FLEXION PULGAR 2\' ] , FolderName)

PathFolder = [PathCurrent '/FLEXION PULGAR 2\' FolderName];

% crear las carpetas para guardar los resultados

save(PathFolder, 'e', 'timeEMG');

otherwise
disp('bad value');
end

% --- Se ejecuta al presionar el botón en pb_clear.
function pb_clear_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to pb_clear (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

if ~isempty(handles.myoData)
handles.myoData.clearLogs();
end
hpstrip = [...
handles.hp.quat,...
handles.hp.gyro,...
handles.hp.accel,...
handles.hp.emg',...
handles.hp.pose'];
for ii = 1:length(hpstrip)
set (hpstrip(ii), 'xdata', [], 'ydata', []);
end
set (hObject, 'enable', 'off');
drawnow;

% --- Executes when user attempts to close figure1.
function figure1_CloseRequestFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to figure1 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB

```

```

% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

% force deletion if not performed manually
stop(handles.update_timer);
delete(handles.update_timer);
if ~isempty(handles.closeFunc)
    handles.closeFunc();
end

% Hint: delete(hObject) closes the figure
delete(hObject);

% --- Executes on slider movement.
function sl_azimuth_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to sl_azimuth (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'Value') returns position of slider
%         get(hObject,'Min') and get(hObject,'Max') to determine range of
slider

az = round(get(hObject,'value'));
set(hObject,'value',az);

el = round(get(handles.sl_elevation,'value'));
set(handles.sl_elevation,'value',el);

view(handles.ax_quat_orientation,...
    -az-handles.const.ROTATE_OFFSET,-el);

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function sl_azimuth_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to sl_azimuth (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: slider controls usually have a light gray background.
if isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor',[.9 .9 .9]);
end
set(hObject,'sliderstep',1/359*[1,10],'value',0);

% --- Executes on slider movement.
function sl_elevation_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to sl_elevation (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

% Hints: get(hObject,'Value') returns position of slider
%         get(hObject,'Min') and get(hObject,'Max') to determine range of
slider

az = round(get(handles.sl_azimuth,'value'));
set(handles.sl_azimuth,'value',az);

el = round(get(hObject,'value'));
set(hObject,'value',el);

view(handles.ax_quat_orientation,...
      -az-handles.const.ROTATE_OFFSET,-el);

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function sl_elevation_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to sl_elevation (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: slider controls usually have a light gray background.
if isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor',[.9 .9 .9]);
end

```