

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



**“Construcción de una órtesis
inteligente para rehabilitación de
articulaciones de hombro y codo”**

Propuesta Convocatoria FODEIN 2018

Ing. Andrea Katherín Pérez Hernandez
Ing. Carlos Saith Rodríguez Rojas

11 de septiembre de 2017

Título

Construcción de una órtesis inteligente para rehabilitación de articulaciones de hombro y codo

Duración

9 meses

Lugar de ejecución

Universidad Santo Tomás, Bogotá D.C, Sede Principal.

Investigador principal

Ing. Andrea Katherín Pérez Hernández

Co-investigador(es)

Ing. Carlos Saith Rodríguez Rojas

Datos generales					
Programa	Facultad	Línea activa	Línea medular	Campos de acción institucional	Grupo de investigación
Ingeniería Electrónica	Ingeniería Electrónica	Inteligencia Computacional, Robótica	Alberto Magno	Derechos humanos, ciudadanía y construcción de política pública en y para escenarios de paz () Desarrollo tecnológico con apuesta social (X) Desarrollo ambiental sostenible() Cambio educativo y social desde la multi e interculturalidad ()	Grupo de Estudio y Desarrollo en Robótica GED



BOGOTÁ • PBX: (571) 587 87 97 Línea gratuita nacional: 01 8000 111 180
Carrera 9, n.º 51-11 / www.usta.edu.co / contactenos@usantotomas.edu.co
VICERRECTORÍA GENERAL DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA • Tel. (571) 595 00 00
Carrera 10, n.º 72-50 / www.ustadistancia.edu.co / admisiones@ustadistancia.edu.co
NIT: 860012357-6



Equipo de investigación requerido

- **Investigador Principal:** Andrea Katherín Pérez Hernández: Ingeniera Electrónica egresada de la Universidad Santo Tomás, con Maestría en Ingeniería de Sistemas y Computadores de la Universidad de los Andes. Se encuentra vinculada como docente tiempo completo en la Facultad de Ingeniería Electrónica desde el año 2012 y participa en el grupo GED desde el año 2009. Ha participado en la ejecución de múltiples proyectos de investigación como investigador principal o co-investigador. Dentro de su producción académica se encuentran diversas publicaciones en revistas internacionales indexadas, registros de software y ha representado a la Universidad en eventos internacionales en el área de robótica.
- **Co-investigador:** Carlos Saith Rodríguez Rojas, Ingeniero Electrónico de la Universidad Santo Tomás y Magister en Ingeniería de Sistemas y Computadores de la Universidad de los Andes. Docente de tiempo completo de la Facultad de Ingeniería Electrónica desde 2010 y miembro desde 2007 del Grupo de Estudio y Desarrollo en Robótica. Cuenta con numerosos productos de generación de conocimiento de alto impacto, de desarrollo tecnológico y de formación de recursos humanos fruto de mas de 10 proyectos de investigación en calidad de auxiliar, co-investigador e investigador principal.
- **Asistente de investigación:** Oswaldo Andrés Peña Rojas, graduado en 2017 como Ingeniero Electrónico de la Universidad Santo Tomás con trabajo de grado laureado, miembro del Semillero de Estudio en Robótica SERO desde 2013 e inscrito para cursar la Maestría en Ingeniería Electrónica con énfasis en Robótica de la Universidad a partir del primer semestre de 2018.
- **Semillero de Investigación:** Semillero de Estudio en Robótica SERO activo desde 2012 y adscrito al Grupo de Estudio y Desarrollo en Robótica. Cuenta actualmente con alrededor de 20 estudiantes de pregrado y se proyectan 4 estudiantes de maestría para 2018.

Resumen de la propuesta

La rehabilitación es un área de la medicina que tiene un gran impacto social debido a que tiene como objetivo mejorar la calidad de vida de personas con discapacidades motrices. Por tal motivo, la robótica ha centrado algunos de sus estudios en el desarrollo de dispositivos inteligentes de rehabilitación que asistan y simulen los movimientos de



BOGOTÁ • PBX: (571) 587 87 97 Línea gratuita nacional: 01 8000 111 180
Carrera 9, n.º 51-11 / www.usta.edu.co / contactenos@usantotomas.edu.co
VICERRECTORÍA GENERAL DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA • Tel. (571) 595 00 00
Carrera 10, n.º 72-50 / www.ustadistancia.edu.co / admisiones@ustadistancia.edu.co
NIT: 860012357-6



extremidades en este tipo de pacientes. El propósito es disminuir tiempos de recuperación brindando una interacción humano-robot natural. Por tal motivo, el Grupo de Estudio y Desarrollo en Robótica ha decidido abordar esta problemática por medio de la creación de una órtesis robótica inteligente que asista en el movimiento de extremidad superior a personas con discapacidad en esta parte del cuerpo. El objetivo es diseñar un sistema que mientras es utilizado por la persona va aprendiendo y se va ajustando a sus movimientos para crear una sensación de fluidez y naturalidad. Por otra parte, la propuesta pretende generar productos de desarrollo tecnológico, generación de nuevo conocimiento y formación de recurso humano a nivel maestría para un estudiante como asistente de investigación.

Palabras Clave

Robótica de Rehabilitación, Aprendizaje de Máquina, Órtesis Robótica, Sistema de Asistencia, Interacción Humano-Robot.

Planteamiento del problema y pregunta de investigación

La robótica es un área interdisciplinar de la ingeniería que se ocupa de solucionar problemáticas para mejorar el bienestar social del ser humano. Existen distintos campos como la industria, la agricultura, la domótica, la educación, la medicina, entre otros, donde la robótica da solución a nuevos paradigmas y optimiza los existentes. Específicamente en la medicina, se ha investigado en dispositivos robóticos para rehabilitación cuyo propósito es mejorar la calidad de vida de personas con problemas motrices o que carecen de alguna extremidad.

Durante las últimas décadas, la robótica de rehabilitación se ha enfocado en desarrollar plataformas inteligentes, fáciles y seguras de usar que asistan los movimientos a pacientes ayudando a reducir tiempos de recuperación. Para esto se han aplicado técnicas de inteligencia artificial y aprendizaje de máquina que permiten estimar movimientos realizados por extremidades humanas para asistirlos y realizar terapias de rehabilitación.

Específicamente, el proyecto se basa en el diseño e implementación de un sistema de asistencia de movimientos aplicando técnicas de aprendizaje en línea para personas con problemas motrices a través de una órtesis robótica. En este problema se requiere crear un modelo computacional que permita la estimación de un movimiento a partir de información de la extremidad y a medida que tenga nuevos datos se ajuste dicho modelo al usuario que está utilizando el dispositivo de rehabilitación.



BOGOTÁ • PBX: (571) 587 87 97 Línea gratuita nacional: 01 8000 111 180
Carrera 9, n.º 51-11 / www.usta.edu.co / contactenos@usantotomas.edu.co
VICERRECTORÍA GENERAL DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA • Tel. (571) 595 00 00
Carrera 10, n.º 72-50 / www.ustadistancia.edu.co / admisiones@ustadistancia.edu.co
NIT: 860012357-6



Pregunta de investigación

¿Cómo crear un sistema de asistencia de movimientos con una órtesis robótica para distintas personas aplicando aprendizaje en línea?

Justificación

La robótica de rehabilitación es una área que tiene un gran impacto social debido a que su propósito es asistir de manera inteligente a personas que no poseen extremidades o tienen problemas motrices. En Colombia, debido al conflicto armado que vivió durante las últimas décadas y causas naturales según el Censo de 2005 del DANE [1], un 6.4 % de la población tiene discapacidades. Esta propuesta busca desarrollar una órtesis robótica para mejorar tiempos de rehabilitación y ayudar a este tipo de personas a recuperar sus condiciones físicas normales o mejorar su calidad de vida.

Además, según [2], la comunidad académica está apuntando a 10 años en crear este tipo de plataformas robóticas donde la interacción con el humano sea intuitiva creando una sensación de naturalidad entre los dos sistemas. Para crear esta característica de naturalidad en los dispositivos de rehabilitación se han aplicado técnicas de aprendizaje de máquina. Esta área se enfoca en el desarrollo de algoritmos para el reconocimiento de patrones en un conjunto de datos. Por tanto, la función de estas técnicas aplicadas a la robótica de rehabilitación es poder predecir intenciones de movimiento en la persona a partir de información obtenida de la extremidad.

El propósito del proyecto es crear un sistema de asistencia de movimiento a través de una órtesis robótica para distintos usuarios. Por consiguiente, se requiere una interacción humano-robot natural y la creación de un dispositivo genérico que funcione para diferentes personas. El aprendizaje en línea, un área de aprendizaje de máquina, se ajusta a este problema debido a que su método es crear y modificar un modelo computacional por cada dato de entrada que llegue, es decir que el modelo se va ajustando a medida que llega una observación. Esta característica hace que a medida que se usa el dispositivo de rehabilitación, éste se va ajustando al movimiento de la persona siendo una posible solución al problema planteado en esta propuesta.

Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema de asistencia de movimiento en una órtesis robótica de extremidad superior de 4 grados de libertad basado en técnicas de aprendizaje en



BOGOTÁ • PBX: (571) 587 87 97 Línea gratuita nacional: 01 8000 111 180
Carrera 9, n.º 51-11 / www.usta.edu.co / contactenos@usantotomas.edu.co
VICERRECTORÍA GENERAL DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA • Tel. (571) 595 00 00
Carrera 10, n.º 72-50 / www.ustadistancia.edu.co / admisiones@ustadistancia.edu.co
NIT: 860012357-6



línea.

Objetivos específicos

- Construir una órtesis robótica que permita la asistencia mecánica a la extremidad del usuario.
- Identificar las variables necesarias para la correcta identificación de patrones en los movimientos de una extremidad superior.
- Crear un modelo computacional genérico que prediga los movimientos de la extremidad superior y permita su ajuste mientras se hace uso del dispositivo.
- Realizar pruebas de campo para evaluar el nivel de usabilidad y de precisión del sistema robótico.

Marco teórico

En el desarrollo del proyecto se requieren distintos conceptos para la consecución de los objetivos. Inicialmente se da una breve aclaración para diferenciar los exoesqueletos, órtesis y prótesis, los cuales son herramientas con características similares pero con definiciones distintas en el ámbito de rehabilitación. Luego se explica qué son las señales electromiográficas y la importancia para la detección de patrones en los movimientos de una extremidad. Finalmente, se presenta la definición general de aprendizaje de máquina, su clasificación y algunos de los métodos más utilizados. Dentro de esta Sección, se muestra con mayor profundidad el área de aprendizaje supervisado mostrando algunas de sus técnicas más representativas y la definición de aprendizaje en línea dada su pertinencia para el desarrollo de este proyecto.

Exoesqueletos, órtesis y prótesis

Los exoesqueletos y las órtesis se definen como dispositivos mecánicos que cuya naturaleza debe ser esencialmente antropomórfica. Además, son usados por personas y se deben ajustar al cuerpo debido a que trabajan en conjunto con los movimientos de los operadores como se observa en la Figura 1 [3].

El término exosqueleto se usa para describir un dispositivo que aumenta el desempeño de un usuario sin discapacidad, mientras que el término órtesis es usualmente usado para describir un dispositivo para asistir a una persona con una patología en una extremidad



BOGOTÁ • PBX: (571) 587 87 97 Línea gratuita nacional: 01 8000 111 180
Carrera 9, n.º 51-11 / www.usta.edu.co / contactenos@usantotomas.edu.co
VICERRECTORÍA GENERAL DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA • Tel. (571) 595 00 00
Carrera 10, n.º 72-50 / www.ustadistancia.edu.co / admisiones@ustadistancia.edu.co
NIT: 860012357-6





Figura 1: Exoesqueleto para carga de Kazerooni [3].

[3]. Por otra parte, una prótesis es un dispositivo que suplanta un miembro amputado, y por tanto actúa en serie con la extremidad residual [4].

Señales electromiográficas

Las señales electromiográficas son señales eléctricas generadas en los músculos durante sus contracciones las cuales representan actividades neuromusculares. Esto ocurre debido a que los músculos, al igual que los nervios, conducen potenciales eléctricos a lo largo de sus tejidos. La técnica utilizada para la recopilación de este tipo de excitaciones se denomina Superficie Electromiográfica (sEMG) [5].

Existen dos metodologías para capturar las señales EMG: formas invasivas y no invasivas. Las técnicas no invasivas hacen la detección por medio de electrodos de superficie, en cambio las invasivas se realizan a través de electrodos de aguja insertados en los músculos. Ambas metodologías miden las señales eléctricas de diferentes unidades motoras al mismo tiempo, lo cual hace que exista una combinación de estas conocida como ruido o distorsión de la señal mostrada en la Figura 2. Este tipo de problemas se mejoran aplicando técnicas de clasificación [5].



BOGOTÁ • PBX: (571) 587 87 97 Línea gratuita nacional: 01 8000 111 180
Carrera 9, n.º 51-11 / www.usta.edu.co / contactenos@usantotomas.edu.co
VICERRECTORÍA GENERAL DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA • Tel. (571) 595 00 00
Carrera 10, n.º 72-50 / www.ustadistancia.edu.co / admisiones@ustadistancia.edu.co
NIT: 860012357-6



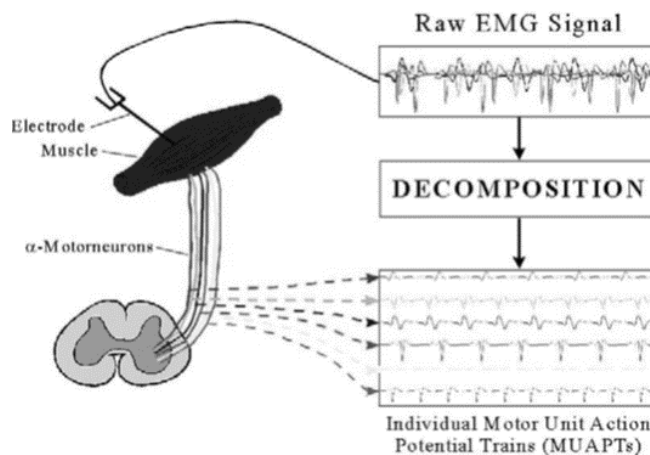


Figura 2: Sistema de extracción de señales electromiográficas mostrando la señal original y la extracción de cada señal de una unidad motora [5].

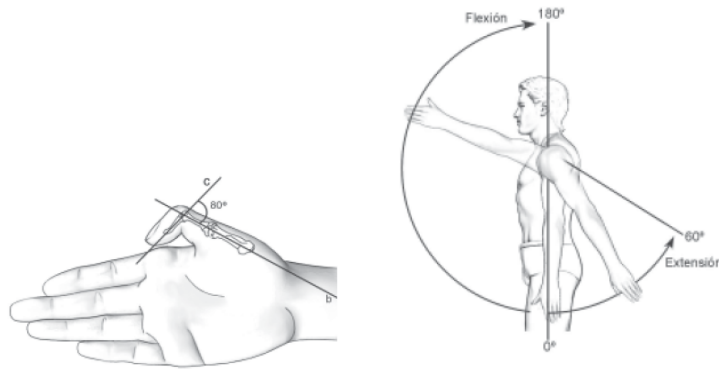
Goniometría extremidad superior

En fisioterapia, existen distintos métodos para rehabilitación de los miembros superiores. Una de estas se denomina Goniometría. La goniometría es una disciplina que estudia la medición de los ángulos. En el campo médico, la goniometría es una técnica de medición de los ángulos creados por la intercepción de los ejes longitudinales de los huesos de las articulaciones [6]. Esta técnica tiene dos objetivos:

- Evaluar la posición de una articulación en el espacio. Figura 3a
- Evaluar el arco de movimiento de una articulación en cada uno de los tres planos del espacio (Plano Sagital, Plano Frontal y Plano Transversal). Figura 3b

En rehabilitación y en biomedicina la goniometría se utiliza para el diseño y la construcción de prótesis y órtesis. Además permite determinar el punto de tratamiento, establecer un pronóstico, motivar al paciente y evaluar la secuela [6]. Para extremidad superior, la goniometría se divide en 4 clases [6]:

- Goniometría de la articulación escapulohumeral (del hombro).
- Goniometría del codo.
- Goniometría del pulgar.
- Goniometría de los dedos de la mano.



(a) Posición de una articulación en el espacio [6]. (b) Arco de movimiento de una articulación [6].

Figura 3: Goniometría.

Machine Learning

El aprendizaje de máquina (*Machine Learning*) contiene una serie de métodos que permiten detectar automáticamente patrones en un conjunto de datos, para posteriormente producir posibles datos futuros o para realizar otros tipos de decisiones en condiciones de incertidumbre. En la aplicación de este tipo de técnicas se necesita conocer la teoría de probabilidad debido a que es fundamental para la creación de modelos que clasifican los datos [7].

Parámetros aprendizaje de máquina

Kernels

Un *kernel* es una función real que permite mapear el espacio de características de los datos en otro espacio usualmente con mayor número de dimensiones [8]. Dentro del problema de clasificación, tradicionalmente se usan los *kernels* con la esperanza de que en el nuevo espacio sea más fácil separar los datos que en el espacio original. Algunos de estos son [7]:

- *Gaussian kernel* o *Radial Basis Function Kernel* (RBF).
- *Polynomial kernel*.
- *Sigmoid kernel*.
- *K-spectrum kernel*.



BOGOTÁ • PBX: (571) 587 87 97 Línea gratuita nacional: 01 8000 111 180
Carrera 9, n.º 51-11 / www.usta.edu.co / contactenos@usantotomas.edu.co
VICERRECTORÍA GENERAL DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA • Tel. (571) 595 00 00
Carrera 10, n.º 72-50 / www.ustadistancia.edu.co / admisiones@ustadistancia.edu.co
NIT: 860012357-6



Cada uno de estos *kernels* poseen parámetros que permiten aumentar o disminuir la complejidad del predictor que se va a realizar [9] [10].

Regularización

Otro concepto que se tiene que tener en cuenta en el aprendizaje de máquina es el de regularización. La regularización es un método que se aplica para que la minimización de la función de costo no se sobre-ajuste a los datos con los que se entrenó [11]. La estructura de regularización se muestra en la Figura 4.

$$\left(\begin{array}{c} \text{Regularized} \\ \text{cost} \\ \text{function} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Empirical} \\ \text{cost} \\ \text{function} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \text{Regularization} \\ \text{parameter} \end{array} \right) \times (\text{Regularizer})$$

Figura 4: Estructura función de costo regularizada [11].

La regularización se adiciona a la función de costo con el propósito de suavizar la solución en la minimización de la función costo para no provocar sobre-ajuste en esta. Esto se logra escogiendo un parámetro apropiado de regularización.

Los *kernels* y la técnica de regularización son parámetros que se deben tener en cuenta para aplicar los dos tipos de aprendizaje de máquina explicados en los siguientes secciones.

Aprendizaje Supervisado

El objetivo en este tipo de aprendizaje es a crear un modelo que mapee un conjunto de entrada x a un conjunto de salida y , dado un conjunto de datos etiquetados. Cuando los datos de salida son categóricos (divididos en clases), el problema es conocido como clasificación o reconocimiento de patrones, y cuando son valores continuos, el problema se conoce como regresión [7].

En el área de aprendizaje supervisado, una de las técnicas más utilizadas para la creación del modelo de los datos son las Máquinas de Soporte Vectorial (*Support Vector Machines*) [12] [13] [14] [15].

Support Vector Machines

Los *Support Vector Machines* son clasificadores binarios reconocidos por ser máquinas



BOGOTÁ • PBX: (571) 587 87 97 Línea gratuita nacional: 01 8000 111 180
Carrera 9, n.º 51-11 / www.usta.edu.co / contactenos@usantotomas.edu.co
VICERRECTORÍA GENERAL DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA • Tel. (571) 595 00 00
Carrera 10, n.º 72-50 / www.ustadistancia.edu.co / admisiones@ustadistancia.edu.co
NIT: 860012357-6



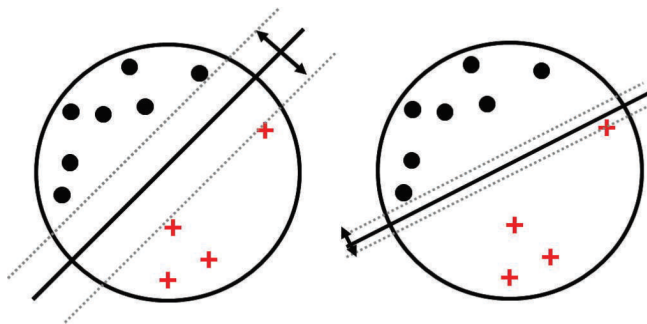


Figura 5: Hiperplano de clasificación utilizado en los SVMs con un margen en la frontera de decisión grande (izquierda) y pequeño (derecha) [7].

de aprendizaje poderosas para problemas generales capaces de encontrar fronteras no lineales de clasificación complejas. El objetivo de los SVMs es hallar un hiperplano con una frontera de decisión adecuada para permitir separar dos clases de datos como se observa en la Figura 5. Esto lo hace a través de la aplicación de alguna función *Kernel* nombradas en la sección Parámetros aprendizaje de máquina [7].

Los SVMs no sólo pueden ser utilizados para problemas de clasificación. Esta técnica puede ser igualmente implementada en problemas de regresión como se explica en la siguiente sección.

***Support Vector Machines* para regresión**

El proceso que utiliza los SVMs para la clasificación de los datos puede ser extendido para predecir valores continuos y reales, como lo hacen las regresiones, manteniendo sus mismas propiedades. Esta técnica se denomina *Support Vector Regression* (SVR) y se logra cambiando la función objetivo que se minimiza en los SVMs.

La función que se utiliza en esta técnica de regresión se denomina ϵ -insensitive y con variables de holgura se determina la función objetivo que se va a minimizar [8] [11] [7]. La gráfica de la función ϵ -insensitive y el proceso de regresión con las variables de holgura se muestra en la Figura 6 y Figura 7 respectivamente. La variable ϵ , en estas dos gráficas, hace referencia a un margen de error que los datos pueden tener con respecto a la función objetivo.

La fórmula de la función objetivo utilizada en los SVR se encuentra en la Ecuación 1. En esta se encuentra el parámetro de regularización C , las variables de holgura ξ_n y $\hat{\xi}_n$



BOGOTÁ • PBX: (571) 587 87 97 Línea gratuita nacional: 01 8000 111 180
Carrera 9, n.º 51-11 / www.usta.edu.co / contactenos@usantotomas.edu.co
VICERRECTORÍA GENERAL DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA • Tel. (571) 595 00 00
Carrera 10, n.º 72-50 / www.ustadistancia.edu.co / admisiones@ustadistancia.edu.co
NIT: 860012357-6



Institución de Educación Superior sujeta a la inspección y vigilancia del Ministerio de Educación Nacional - SNIES 1704

Vigencia por seis años

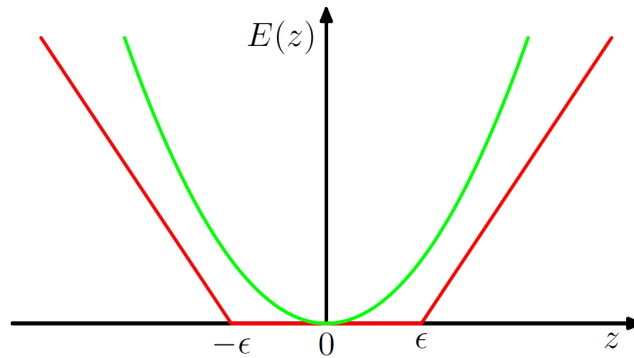


Figura 6: Función objetivo cuadrática (Verde) y Función objetivo ϵ -insensitive (Rojo) [8].

y el vector solución $\mathbf{w}$.

$$C \sum_{n=1}^N (\xi_n + \hat{\xi}_n) + \frac{1}{2} \|\mathbf{w}\|^2 \quad (1)$$

Aprendizaje no supervisado

El aprendizaje no supervisado consiste en la creación de un modelo únicamente a partir de datos de entrada. El objetivo es determinar una distribución o encontrar similitud en dichos datos, a diferencia del aprendizaje supervisado donde se conocen las etiquetas o salidas deseadas del conjunto de datos de entrada [8] [7].

Aprendizaje en Linea

El Aprendizaje en Linea (*Online Learning*) es una serie de técnicas en donde las estimaciones se realizan cada vez que un nuevo dato llega y no teniendo todos los datos diferente al Aprendizaje de Máquina tradicional, el cual se realiza de manera *offline* permitiendo tener todos los datos (*batch learning*) para el entrenamiento [7]. Esta característica de aprender paso a paso permite que el proceso de aprendizaje no quede atrapado en un mínimo local siendo una ventaja con respecto con el proceso tradicional [11].

El Aprendizaje de Linea es utilizado altamente para resolver problemas de clasificación de patrones debido a que posee las siguientes características [11]:



BOGOTÁ • PBX: (571) 587 87 97 Línea gratuita nacional: 01 8000 111 180
Carrera 9, n.º 51-11 / www.usta.edu.co / contactenos@usantotomas.edu.co
VICERRECTORÍA GENERAL DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA • Tel. (571) 595 00 00
Carrera 10, n.º 72-50 / www.ustadistancia.edu.co / admisiones@ustadistancia.edu.co
NIT: 860012357-6



Institución de Educación Superior sujeta a la inspección y vigilancia del Ministerio de Educación Nacional - SNIES 1704

Vigencia por seis años

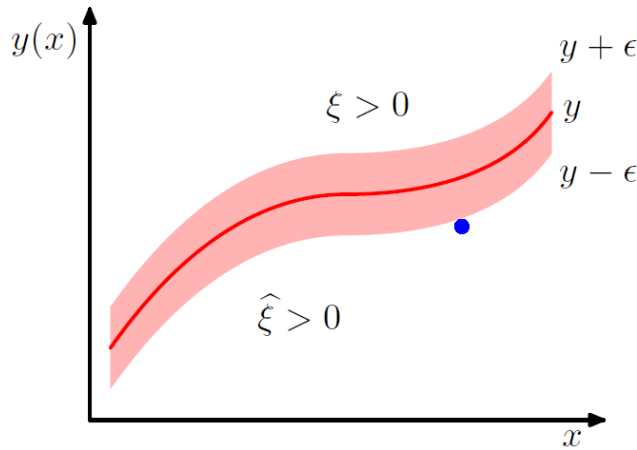


Figura 7: Regresión con SVM [8].

- Es fácil de implementar.
- Proporciona soluciones efectivas para la solución de problemas de clasificación de patrones difíciles y de gran escala.

Además de las ventajas anteriormente nombradas, en estas técnicas de aprendizaje no se necesita guardar demasiados datos [7], no se ven afectadas si existen datos redundantes (i.e. varias copias de un mismo ejemplo) y permiten seguir pequeños cambios cuando los datos no son estacionarios [11]. Para esto, en *Online learning* se trata de minimizar el *regret*, el cual es la pérdida promedio relativa a lo mejor que se puede obtener con todos los datos obtenidos previamente utilizando un solo parámetro. La Ecuación 2 que permite obtener el valor de *regret* donde z_k son cada una de las observaciones y θ_k son los valores estimados:

$$regret_k \triangleq \frac{1}{k} \sum_{t=1}^k f(\theta_t, z_t) - \min_{\theta_* \in \Theta} \frac{1}{k} \sum_{t=1}^k f(\theta_*, z_t) \quad (2)$$

Análisis de componentes principales

El Análisis de Componentes Principales (PCA) es uno de los métodos más conocidos para análisis multivariados. Esta técnica tiene múltiples aplicaciones en reducción de dimensionalidad, compresión de datos y extracción de características [8] [16]. Este método realiza una transformación de espacios reduciendo el número de características



BOGOTÁ • PBX: (571) 587 87 97 Línea gratuita nacional: 01 8000 111 180
Carrera 9, n.º 51-11 / www.usta.edu.co / contactenos@usantotomas.edu.co
VICERRECTORÍA GENERAL DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA • Tel. (571) 595 00 00
Carrera 10, n.º 72-50 / www.ustadistancia.edu.co / admisiones@ustadistancia.edu.co
NIT: 860012357-6



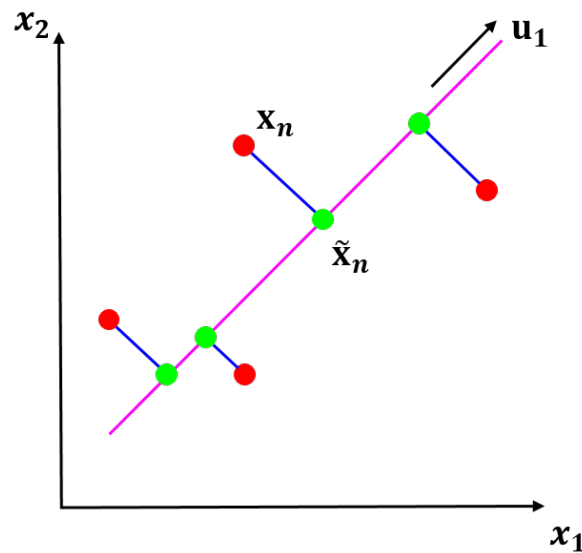


Figura 8: **Máxima varianza:** Subespacio principal (Magenta) resultado de la proyección ortogonal de los datos (Rojos) maximizando la varianza de los datos proyectados (Verdes). **Error de reconstrucción mínimo:** Minimización de la suma del error cuadrático (Azul) de los datos proyectados [8].

del conjunto de datos original sin perder su información intrínseca [11]. PCA cumple este objetivo desde a partir de dos criterios diferentes:

- **Error de reconstrucción mínimo:** Se basa en la minimización de la sumatoria de los errores cuadráticos entre los datos y la proyección que se realiza de estos [8] [16]. Figura 8
- **Máxima varianza:** : Consiste en la maximización de la varianza de los datos proyectados en un espacio lineal de menos dimensión [8] [16]. Figura 8

Uno de los factores para utilizar PCA es con el fin de reducir la dimensionalidad en los datos y prevenir la maldición de la dimensionalidad. La Maldición de la Dimensionalidad (*The Curse of Dimensionality*) es uno de los problemas más frecuentes en los métodos de aprendizaje de máquina y clasificación. Este problema consiste en que el número de datos requeridos crece exponencialmente con el número de dimensiones debido a que en altas dimensiones los datos se vuelven dispersos [16].

Estado del arte

Actualmente existen varios trabajos relacionados con la importancia de las órtesis robóticas para la rehabilitación [17], [18], [19], [12], [20], [15], [21], [22]. En estos escritos se muestra el uso de las plataformas robóticas en el campo de la medicina, sus ventajas, desventajas y los desarrollos recientes de estos dispositivos. Por ejemplo en [12], los autores expresan el alcance de las órtesis activas o energizadas que tienen como principal objetivo disminuir las hospitalizaciones y los terapeutas requeridos para personas con discapacidades motrices reduciendo costos en el servicio de salud personal. Las investigaciones en esta área se enfocan principalmente en el control y las técnicas para clasificación con el fin de realizar reconocimiento de patrones.

En el ámbito de control de plataformas robóticas para rehabilitación, se pueden encontrar aplicaciones en extremidades inferiores [12], [20], extremidades superiores [18], [19], y en la parte de la cadera o pelvis [22]. Para aplicar el control en órtesis robóticas de cualquier miembro se deben capturar la mayor cantidad de características fisiológicas de la extremidad [12]. En el caso de la implementación de este tipo de herramientas, el sistema de control debe identificar los modos de locomoción de la extremidad de cada usuario como se observa en la Figura 9. Es decir, la transición que existe entre dos estados distintos del miembro. Este proceso de identificación se realiza a través de técnicas de clasificación las cuales poseen un conjunto de entradas que son características relevantes de cada uno de los movimientos de las extremidades [20].

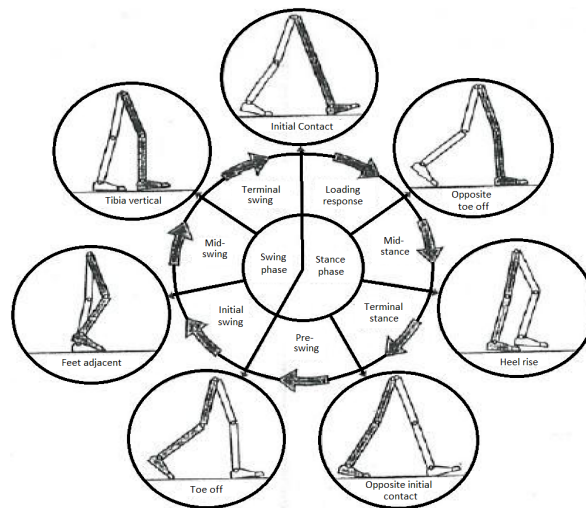


Figura 9: Ciclo de caminata dividido en 7 fases [20].



En el sistema de control pueden existir diferentes tipos de entradas. En algunos trabajos utilizan las señales electromiográficas (EMG). Estas señales son el resultado del potencial de acción de las unidades motoras generada en las fibras musculares [20], las cuales generan los movimientos de los músculos. La medición de estas señales se realiza con sensores que detectan las señales eléctricas de las contracciones de los músculos según la Figura 10. Este tipo de excitaciones tiene asociado patrones dependiendo del movimiento de la extremidad ayudando al reconocimiento de las intenciones y los modos de locomoción que la persona realice [12], [20].

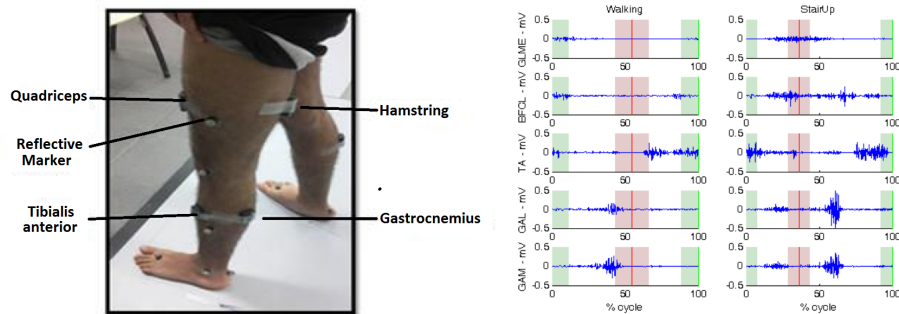


Figura 10: Electrodo EMG ubicados en una extremidad inferior (izquierda) [20] y las señales electromiográficas de dos actividades en el miembro inferior (derecha) [12].

Otro tipo de entrada utilizado en el control de órtesis son las señales encefalomiográficas (EEG). Estas mediciones hacen referencia a las actividades eléctricas del cerebro. Con esta información, se puede realizar un control de órtesis por medio de un proceso mental en el cual la persona ejercita y simula una acción dada [19]. Esta acción se denomina visualización motora, también llamada en inglés *motor imagery*.

Otra de las señales que actualmente se está utilizando en diversas aplicaciones para el control de prótesis y órtesis robóticas son las señales mecanomiográficas (MMG). Este tipo de excitaciones son vibratorias y se producen por la contracción de los músculos. La medición de estas señales se realiza por medio de micrófonos o acelerómetros [17]. Existen aplicaciones en donde se utilizan tanto las señales EMG como las MMG en conjunto con una Unidad de Medida Inercial (IMU) para controlar una prótesis de una mano [21] como se puede evidenciar en la Figura 11.

Otras clases de entradas que se utilizan son los ángulos de las órtesis. En algunas aplicaciones como órtesis activas para la cadera [22], las entradas para el sistema de control son los ángulos relativos de la cadera en las dos piernas en un periodo de tiempo pre-

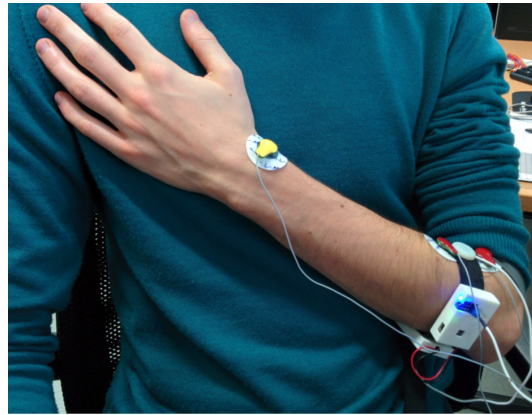


Figura 11: Sensores EMG (amarillo-rojo), sensor MMG (blanco) y sensor IMU (caja blanca) ubicados en extremidad superior [21].

definido. Esta información permite determinar dos tipos de estados de locomoción de la extremidad: estáticos y dinámicos.

Por otra parte, en el reconocimiento de patrones para predecir los movimientos futuros del miembro de la persona se utilizan distintas técnicas de aprendizaje de máquina, siendo las prótesis robóticas de extremidades superiores las más comunes para rehabilitación [23], [24], [15], [25]. Una de ellas son las Máquinas de Soporte Vectorial (SVM). Ésta se ha usado en varios trabajos debido a que mejora la precisión en el proceso de clasificación [12] según la Figura 12. Particularmente se pueden aplicar SVMs gemelos con el fin de reducir el tiempo de clasificación y superar asimetrías entre clases. Los resultados demuestran un mejoramiento en los resultados de clasificación obtenidos [15]. Las entradas para este clasificador son señales EMG.

Otro método para la identificación de un modelo en los movimientos de una extremidad humana con propósitos de rehabilitación es el Análisis Discriminante Lineal (LDA) [25] y las Redes Neuronales Artificiales (ANN) [23]. En [23], se evidencia un trabajo conjunto entre las técnicas de LDA y ANN. Las entradas al método propuesto en este trabajo, son las características extraídas de un conjunto de señales EMG las cuales inicialmente se ingresan a un LDA. Luego se entrena una red neuronal con un resultado determinado para las salidas entregadas por el clasificador anterior tanto para las decisiones correctas como para las incorrectas. El esquema de este método implementado se muestra en la Figura 13.

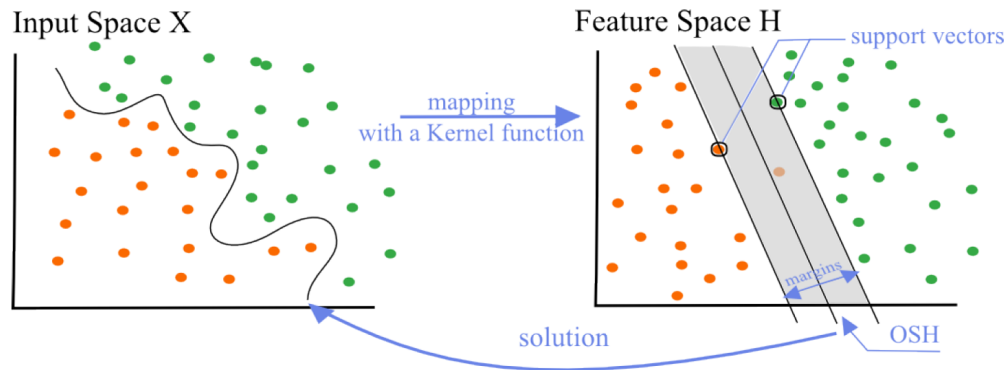


Figura 12: Solución de un problema de clasificación utilizando SVMs en un conjunto de datos con dos características [12].

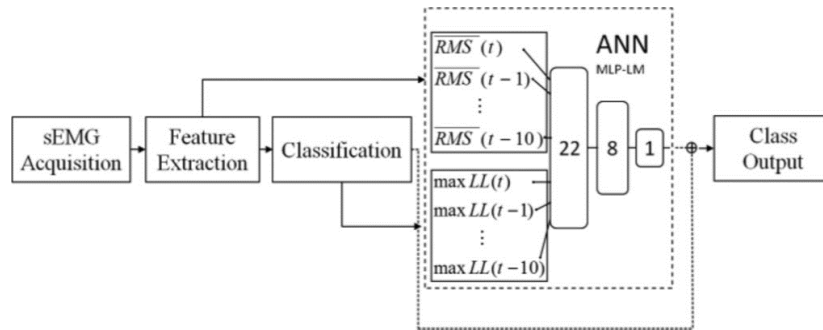


Figura 13: Esquema del método propuesto en [23] para la clasificación de los movimientos de una extremidad superior.

Metodología

La metodología que se va a aplicar en este proyecto es de carácter empírico analítica. A partir de la observación y experiencia de trabajos anteriores se plantean las hipótesis para proponer nuevas alternativas de solución para problemas en rehabilitación médica en cada una de las etapas de investigación. Se consultan las fuentes de información de sitios web especializados y artículos indexados con los cuales se establece la información de base relevante y las mejores alternativas de solución. Posteriormente, se realiza una secuencia de actividades de diseño y una metodología de validación coherente hasta que se finaliza el proyecto.

El procedimiento que se va a desarrollar se basará en un sistema de aprendizaje en línea

debido a que el modelo que se desea construir se va a adaptar en cada observación que se obtiene en la adquisición de datos. Esta metodología se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 14.

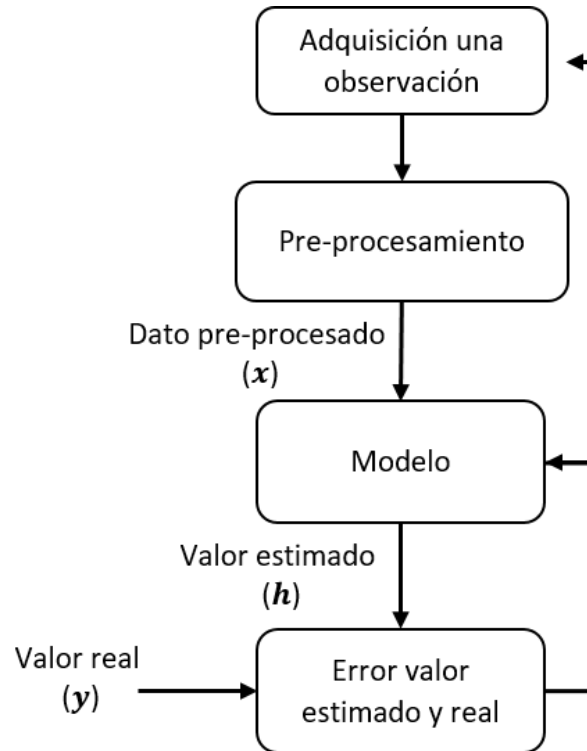


Figura 14: Diagrama de flujo implementado en el desarrollo del proyecto.

Inicialmente, se va a desarrollar un proceso de adquisición de datos donde se va a tener en cuenta una observación, la cual posee información del movimiento de la extremidad en un instante de tiempo. Cada observación va a ser pre-procesada (x) con el fin de obtener las características más importantes del movimiento.

El dato pre-procesado, inicialmente pasa por un modelo pre-entrenado obtenido gracias a la información de múltiples repeticiones en los movimientos de una persona, donde como da como salida un valor estimado (h). Posteriormente, se realiza el cálculo del error entre el valor estimado y el valor real (y) modificando automáticamente el modelo para que se equivoque lo menos posible en la siguiente observación. Este proceso se repite indefinidamente haciendo que el modelo se ajuste en cada paso a los movimientos del usuario que está utilizando la órtesis robótica.

Herramientas de Hardware

- SISTEMA DE PROCESAMIENTO: Computador para el desarrollo de algoritmos para la adquisición y pre-procesamiento de los datos y la creación del modelo computacional.
- BRAZALETE MYO: Dispositivo para la adquisición de información fisiológica (Señales EMG) y espacial (IMU) de la extremidad humana.
- SERVOMOTORES Y ACOPLERES: Actuadores *Dynamixel MX-28* y *links* para la creación de la órtesis robótica de 4 grados de libertad.

Herramientas de Software

- MATLAB: Ambiente de computación que permite la manipulación de matrices, procesamiento de datos y realizar gráficas de funciones o de un conjunto de datos.
- QT LIBRARY: Framework multiplataforma basado en lenguaje C++ ampliamente usado en el desarrollo de aplicaciones de software con interfaz gráfica.
- DYNAMIXEL SDK: Librería estándar de programación escrita en lenguaje C que permite controlar y obtener información de los servomotores *Dynamixel* por medio de un API diseñada por la empresa fabricante ROBOTIS.
- LIBSVM: Librería de código abierto para aplicaciones de aprendizaje de máquina. Específicamente esta librería implementa algoritmos de optimización en el desarrollo de SVMs para actividades de clasificación o de regresión. Esta librería está disponible para C, C++, MATLAB, Python y Java.

Resultados esperados

Los resultados esperados de la propuesta es la creación de un sistema de asistencia funcional que le permita a una persona con problemas motrices en su extremidad superior realizar movimientos fluidos sin mayor esfuerzo. Para esto se deben tener las siguientes características:

- **Hardware:** Una órtesis robótica de 4 grados de libertad para la rehabilitación de las articulaciones del hombro y codo.
- **Software:** Una interfaz gráfica que permita adquirir y monitorar los datos obtenidos de la extremidad y, además, ejecutar el sistema de asistencia en la órtesis robótica en tiempo real.



BOGOTÁ • PBX: (571) 587 87 97 Línea gratuita nacional: 01 8000 111 180
Carrera 9, n.º 51-11 / www.usta.edu.co / contactenos@usantotomas.edu.co
VICERRECTORÍA GENERAL DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA • Tel. (571) 595 00 00
Carrera 10, n.º 72-50 / www.ustadistancia.edu.co / admisiones@ustadistancia.edu.co
NIT: 860012357-6



Además se espera la formación en nivel de maestría de un asistente de investigación con énfasis en Robótica de la Maestría de Ingeniería Electrónica de la Universidad Santo Tomás.

Productos esperados

Los productos esperados de acuerdo con la tipología de Colciencias se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: Productos esperados

PRODUCTO (según tipología COLCIENCIAS)	DESCRIPCIÓN
Productos resultados de actividades de generación de nuevo conocimiento: Artículos de investigación A1, A2, B y C	Un artículo de investigación en revista indexada en ISI o SCOPUS
Productos de resultados de actividades de desarrollo e innovación: Productos tecnológicos certificados o validados	Registro de software de la aplicación desarrollada para la adquisición e implementación del sistema de asistencia
Productos de actividades relacionados con formación de recurso humano para la CTEI: Proyectos de investigación y desarrollo	Proyecto ejecutado por el Grupo de Estudio y Desarrollo en Robótica GED
Productos de actividades relacionados con formación de recurso humano para la CTEI: Trabajo de grado de maestría	Trabajo de grado de maestría del asistente de investigación vinculado al proyecto (El producto estará sujeto a la continuidad del asistente de investigación en futuros proyectos del grupo)

Contribución del proyecto al cumplimiento de la misión institucional

El proyecto propuesto emplea las funciones sustantivas de investigación y proyección social de la Universidad debido a que sus productos principales se enfocan a la generación de nuevo conocimiento y su objetivo general pretende mejorar la calidad de vida de personas



BOGOTÁ • PBX: (571) 587 87 97 Línea gratuita nacional: 01 8000 111 180
Carrera 9, n.º 51-11 / www.usta.edu.co / contactenos@usantotomas.edu.co
VICERRECTORÍA GENERAL DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA • Tel. (571) 595 00 00
Carrera 10, n.º 72-50 / www.ustadistancia.edu.co / admisiones@ustadistancia.edu.co
NIT: 860012357-6



Institución de Educación Superior sujeta a la inspección y vigilancia del Ministerio de Educación Nacional - SNIES 1704

Vigencia por seis años

con discapacidades motrices, según con los proyectos generales, misión y visión del Grupo de Estudio en Robótica (GED).

Además, la propuesta basada en robótica de rehabilitación se articula a las líneas de acción del Plan Integral Multicampus PIM 2016-2027 y a las acciones del Plan General de Desarrollo PGD 2016-2019 de la siguiente manera:

Basado en el Documento Síntesis Plan General de Desarrollo 2016-2019 de la Universidad Santo Tomás, el proyecto contribuye a la línea de acción **Proyección social e investigación pertinentes** con los siguientes subobjetivos y sus correspondientes acciones:

- **Identificar los campos de acción a nivel nacional y regional de la USTA:** Los robots de rehabilitación da solución a problemáticas encontradas en el ámbito médico hasta el industrial debido a que apunta a construir dispositivos para mejorar la fluidez y fuerza en la movilidad de extremidades en las personas.
- **Garantizar que los programas y proyectos de proyección social se articulen con las demás funciones sustantivas, en concordancia con los campos de acción definidos:** El proyecto busca desarrollar productos que tengan un impacto social a través de una metodología investigativa, debido a que la robótica de rehabilitación apunta a mejorar la calidad de personas con discapacidades motrices o con carencia de alguna extremidad a través de técnicas actuales aplicando algoritmos de inteligencia artificial y aprendizaje de máquina.
- **Incrementar la producción investigativa con impacto regional, nacional e internacional:** Los productos esperados del proyecto pretenden generar nuevo conocimiento con publicaciones en revistas internacionales de alto impacto y al desarrollo tecnológico de prototipos y software funcionales.
- **Aumentar de manera progresiva y sostenible la cooperación académica con otras instituciones nacionales e internacionales:** El proyecto esta alineado a la filosofía de la red mundial de investigación *Federación RoboCup*.



BOGOTÁ • PBX: (571) 587 87 97 Línea gratuita nacional: 01 8000 111 180
Carrera 9, n.º 51-11 / www.usta.edu.co / contactenos@usantotomas.edu.co
VICERRECTORÍA GENERAL DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA • Tel. (571) 595 00 00
Carrera 10, n.º 72-50 / www.ustadistancia.edu.co / admisiones@ustadistancia.edu.co
NIT: 860012357-6



Presupuesto

Recurso solicitado FODEIN		
Concepto	Descripción	Monto
Personal científico	Andrea Katherín Pérez Hernández	60h/mes, \$17'943.750
	Carlos Saith Rodríguez Rojas	20h/mes, \$5'981.250
Auxilio a investigadores	No aplica	\$0
Asistentes de investigación	Reconocimiento económico a estudiantes de maestría	\$13'500.000
Equipos	Se usarán los equipos disponibles en el laboratorio de robótica	\$0
Software	Se usará software libre y versiones educacionales sin costo	\$0
Materiales	Servomotores Brazaletes <i>Myo</i> Acoples actuadores Sistema embebido de control	\$2'500.000
Papelería	No aplica	\$0
Fotocopias	No aplica	\$0
Salidas de campo	No aplica	\$0
Material bibliográfico	Se usarán los recursos físicos y electrónicos de la biblioteca	\$0
Publicaciones	No aplica	\$0
Servicios técnicos	No aplica	\$0
Movilidad académica	Participación en conferencia internacional	\$2'000.000
Organización de eventos	No aplica	\$0
	Total	\$41'925.000
Contrapartida externa		
Para proyectos en cooperación y alianza estratégica		
Institución	Descripción	Monto
	Detalle los montos y los conceptos	
	Total	

Cronograma

El cronograma propuesto para el desarrollo del proyecto se muestra en la Figura 15.



BOGOTÁ • PBX: (571) 587 87 97 Línea gratuita nacional: 01 8000 111 180
Carrera 9, n.º 51-11 / www.usta.edu.co / contactenos@usantotomas.edu.co
VICERRECTORÍA GENERAL DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA • Tel. (571) 595 00 00
Carrera 10, n.º 72-50 / www.ustadistancia.edu.co / admisiones@ustadistancia.edu.co
NIT: 860012357-6



Institución de Educación Superior sujeta a la inspección y vigilancia del Ministerio de Educación Nacional - SNIES 1704

Vigencia por seis años

Actividad	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9
Evaluación de las técnicas del estado del arte									
Construcción de la órtesis robótica									
Desarrollo de interfaz para la adquisición de los datos									
Caracterización y pre-procesamiento de los datos recolectados.									
Creación del modelo pre-entrenado									
Preparación informe de avance									
Implementación de técnicas de aprendizaje en línea									
Pruebas de campo									
Elaboración de artículo de investigación									
Realización de informe final del proyecto									

Figura 15: Cronograma del proyecto.

Bibliografía

- [1] DANE, “Sala situacional de personas con discapacidad (PCD),” Disponible en Internet. URL: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/PS/sala-situacional-discapacidad-nacional-oct-2016.pdf>, [en línea].
- [2] V. O. Robotics, “Roadmap for healthcare and medical robotics,” in *A Roadmap for U.S. Robotics from Internet to Robotics*, Tech. Rep., 2013, pp. 36–53.
- [3] H. Herr, “Exoskeletons and orthoses: classification, design challenges and future directions,” *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, vol. 6, no. 1, p. 21, 2009. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1186/1743-0003-6-21>
- [4] M. R. Tucker, J. Olivier, A. Pagel, H. Bleuler, M. Bouri, O. Lamercy, J. d. R. Millán, R. Riener, H. Vallery, and R. Gassert, “Control strategies for active lower extremity prosthetics and orthotics: a review,” *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, vol. 12, no. 1, p. 1, 2015. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1186/1743-0003-12-1>
- [5] M. B. I. Reaz, M. S. Hussain, and F. Mohd-Yasin, “Techniques of emg signal analysis: detection, processing, classification and applications (correction),”



BOGOTÁ • PBX: (571) 587 87 97 Línea gratuita nacional: 01 8000 111 180
Carrera 9, n.º 51-11 / www.usta.edu.co / contactenos@usantotomas.edu.co
VICERRECTORÍA GENERAL DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA • Tel. (571) 595 00 00
Carrera 10, n.º 72-50 / www.ustadistancia.edu.co / admisiones@ustadistancia.edu.co
NIT: 860012357-6



Institución de Educación Superior sujeta a la inspección y vigilancia del Ministerio de Educación Nacional - SNIES 1704

Vigencia por seis años

- Biological Procedures Online*, vol. 8, no. 1, pp. 163–163, 2006. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1251/bpo124>
- [6] C. H. Taboadela, *Goniometría: Una herramienta para la evaluación de las incapacidades laborales*. Buenos Aires, Argentina: Asociart ART, 2007.
- [7] K. P. Murphy, *Machine learning: a probabilistic perspective*. Cambridge, Massachusetts, USA: MIT press, 2012.
- [8] C. Bishop, *Pattern Recognition and Machine Learning*. Secaucus, New Jersey, USA: Springer, 2006.
- [9] B. E. Boser, I. M. Guyon, and V. N. Vapnik, “A training algorithm for optimal margin classifiers,” in *Proceedings of the Fifth Annual Workshop on Computational Learning Theory*, ser. COLT '92. New York, NY, USA: ACM, 1992, pp. 144–152. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/130385.130401>
- [10] LIBSVM, “A practical guide to support vector classification. Disponible en internet. URL:,” <https://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/papers/guide/guide.pdf>, [en línea].
- [11] S. Haykin, *Neural networks and learning machines*. Upper Saddle River, New Jersey, USA: Pearson, 2009, vol. 3.
- [12] E. Ceseracciu, M. Reggiani, Z. Sawacha, M. Sartori, F. Spolaor, C. Cobelli, and E. Pagello, “Svm classification of locomotion modes using surface electromyography for applications in rehabilitation robotics,” in *19th International Symposium in Robot and Human Interactive Communication*, Viareggio, Italia, 2010, pp. 165–170.
- [13] X. Ma, Y. Zhang, and Y. Wang, “Performance evaluation of kernel functions based on grid search for support vector regression,” in *2015 IEEE 7th International Conference on Cybernetics and Intelligent Systems (CIS) and IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics (RAM)*, July 2015, pp. 283–288.
- [14] A. Mohamed and M. E. El-Hawary, “On optimization of svms kernels and parameters for electricity price forecasting,” in *2016 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC)*, Oct 2016, pp. 1–6.
- [15] G. R. Naik, D. K. Kumar, and Jayadeva, “Twin svm for gesture classification using the surface electromyogram,” *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, vol. 14, no. 2, pp. 301–308, 2010.



BOGOTÁ • PBX: (571) 587 87 97 Línea gratuita nacional: 01 8000 111 180
Carrera 9, n.º 51-11 / www.usta.edu.co / contactenos@usantotomas.edu.co
VICERRECTORÍA GENERAL DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA • Tel. (571) 595 00 00
Carrera 10, n.º 72-50 / www.ustadistancia.edu.co / admisiones@ustadistancia.edu.co
NIT: 860012357-6



- [16] J. A. Lee and M. Verleysen, *Nonlinear dimensionality reduction*. New York, New York, USA: Springer Science & Business Media, 2007.
- [17] N. Alves and T. Chau, "Recognition of forearm muscle activity by continuous classification of multi-site mechanomyogram signals," in *2010 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology*, Buenos Aires, Argentina, 2010, pp. 3531–3534.
- [18] C. W. Antuvan, F. Bisio, E. Cambria, and L. Masia, "Discrete classification of upper limb motions using myoelectric interface," in *2015 IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*, Singapore, Singapore, 2015, pp. 451–456.
- [19] J. Cantillo, R. I. Carino, D. Elias, and J. Gutierrez, "Control signal for a mechatronic hand orthosis aimed for neurorehabilitation," in *2015 Pan American Health Care Exchanges (PAHCE)*, Viña del mar, Chile, 2015, pp. 1–4.
- [20] C. D. Joshi, U. Lahiri, and N. V. Thakor, "Classification of gait phases from lower limb emg: Application to exoskeleton orthosis," in *2013 IEEE Point-of-Care Healthcare Technologies (PHT)*, Bangalore, India, 2013, pp. 228–231.
- [21] R. Woodward, S. Shefelbine, and R. Vaidyanathan, "Integrated grip switching and grasp control for prosthetic hands using fused inertial and mechanomyography measurement," in *2015 Swarm/Human Blended Intelligence Workshop (SHBI)*, Cleveland, Ohio, USA, 2015, pp. 1–8.
- [22] K. Yuan, A. Parri, T. Yan, L. Wang, M. Munih, Q. Wang, and N. Vitiello, "A realtime locomotion mode recognition method for an active pelvis orthosis," in *2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, Hamburgo, Alemania, 2015, pp. 6196–6201.
- [23] S. Amsüss, P. M. Goebel, N. Jiang, B. Graimann, L. Paredes, and D. Farina, "Self-correcting pattern recognition system of surface emg signals for upper limb prosthesis control," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 61, no. 4, pp. 1167–1176, 2014.
- [24] S. J. Bansod and S. A. Raurale, "Subject-specific emg pattern classification of active hand movements for prosthesis applications," in *2014 IEEE International Conference on Advanced Communications, Control and Computing Technologies*, Ramnathapuram, India, 2014, pp. 1502–1506.



BOGOTÁ • PBX: (571) 587 87 97 Línea gratuita nacional: 01 8000 111 180
Carrera 9, n.º 51-11 / www.usta.edu.co / contactenos@usantotomas.edu.co
VICERRECTORÍA GENERAL DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA • Tel. (571) 595 00 00
Carrera 10, n.º 72-50 / www.ustadistancia.edu.co / admisiones@ustadistancia.edu.co
NIT: 860012357-6



- [25] S. A. Raurale and P. N. Chatur, “Identification of real-time active hand movements emg signals for control of prosthesis robotic hand,” in *2014 International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication (ICCPEIC)*, Chennai, India, 2014, pp. 482–487.

Posibles evaluadores

- Henry Carrillo Lindado PhD, Profesor Asistente de la Universidad Sergio Arboleda, henry.carrillo@usa.edu.co
- Luis Felipe Giraldo PhD, Profesor Asistente de la Universidad de los Andes, if.giraldo404@uniandes.edu.co



BOGOTÁ • PBX: (571) 587 87 97 Línea gratuita nacional: 01 8000 111 180
Carrera 9, n.º 51-11 / www.usta.edu.co / contactenos@usantotomas.edu.co
VICERRECTORÍA GENERAL DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA • Tel. (571) 595 00 00
Carrera 10, n.º 72-50 / www.ustadistancia.edu.co / admisiones@ustadistancia.edu.co
NIT: 860012357-6

