

# Grado en Ingeniería de las Tecnologías de Telecomunicación

## Integración de sensor EMG para control de electroestimulación

Autor: Jesús Suárez Luque

Tutora: María del Mar Elena Pérez

Tutor: Vicente Baena Lecuyer

**Dpto. Ingeniería Electrónica  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla**

Sevilla, 2019



Grado en Ingeniería de las Tecnologías de Telecomunicación

# **Integración de sensor EMG para control de electroestimulación**

Autor: Jesús Suárez Luque

Tutora: María del Mar Elena Pérez

Tutor: Vicente Baena Lecuyer

Dpto. Ingeniería Electrónica  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019



## Integración de sensor EMG para control de electroestimulación

Autor: Jesús Suárez Luque

Tutora: María del Mar Elena Pérez

Tutor: Vicente Baena Lecuyer

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2019

El Secretario del Tribunal



*A mi familia*

*A mis profesores*



# Agradecimientos

---

En primer lugar agradecer a cada profesor de GITT que se esfuerza cada día por hacer mejor su trabajo y disfruta de ello. En especial a mi tutora de este proyecto Mar por darme la oportunidad de realizar un proyecto en este campo de Ingeniería Biomédica y por su gran apoyo, consejo y esfuerzo, más que una profesora me llevo una amiga de este proyecto.

Agradecer también el apoyo de amigos y familiares que me han motivado a acabar la carrera en momentos difíciles.

En especial agradecer a mis padres por el esfuerzo que han realizado durante estos años para que pueda estar escribiendo esta memoria del proyecto, por su esfuerzo, comprensión, ayuda...se lo merecen todo.

*Jesús Suárez Luque*

*Autor del trabajo*

*Sevilla, 2019*





# Resumen

---

Este proyecto trata sobre el diseño e implementación de un prototipo de un futuro dispositivo para el diagnóstico y tratamiento del bruxismo. El bruxismo puede llegar a alcanzar prevalencias del 6 al 91% ocasionando graves trastornos de la ATM (Los trastornos de la ATM son un problema muy frecuente, aproximadamente el 80 % de la población general tiene al menos un signo clínico de esta disfunción, ruidos, desviación o bloqueo mandibular etc.), es por ello la importancia de este proyecto en el aporte de un nuevo diseño que combata los síntomas de esta enfermedad.

Comenzaremos con un estudio inicial sobre la enfermedad y analizaremos el estado del arte, posteriormente se analizarán los diseños aportados en el anterior proyecto "Diseño de un dispositivo para la detección de bruxismo mediante biofeedback" realizado por Patricia Cornejo Cuenca.

Por último se implementará y testeará una posible solución.



# Abstract

---

This project deals with the design and implementation of a prototype of a future device for the diagnosis and treatment of bruxism. Bruxism can reach prevalence of 6 to 91% causing serious ATM disorders (ATM disorders are a very common problem, approximately 80% of the general population has at least one clinical sign of this dysfunction, noise, mandible deviation or blockage etc.), is the reason of the importance of this project in the contribution of a new design to combat the symptoms of this disease.

We will start with an initial study on the disease and analyze the state of the art, then analyze the designs provided in the previous project "Design a device for the detection of bruxism throw biofeedback" by Patricia Cornejo Cuenca will finally implement and test a possible solution.

<b>Agradecimientos</b>	<b>viii</b>
<b>Resumen</b>	<b>x</b>
<b>Abstract</b>	<b>xii</b>
<b>Índice</b>	<b>xiii</b>
Índice de Tablas	<b>xv</b>
Índice de Figuras	<b>xvii</b>
<b>Notación</b>	<b>xx</b>
<b>1 Antecedentes</b>	<b>1</b>
<b>2 Introducción</b>	<b>3</b>
2.1 Propósito / Alcance del trabajo	3
2.2 Objetivos	3
2.3 Requisitos del trabajo	4
2.4 Requisitos técnicos del proyecto	5
<b>3 Bruxismo</b>	<b>7</b>
3.1 Definición	7
3.2 Clasificación	7
3.2.1 Clasificación según el grado de intensidad	7
3.2.2 Clasificación según el movimiento	8
3.2.3 Clasificación según el momento	8
3.3 Etiología	8
3.4 Epidemiología	9
3.5 Diagnóstico	9
3.6 Tratamiento	10
<b>4 Estado del arte</b>	<b>11</b>
<b>5 Análisis de diseño</b>	<b>15</b>
<b>6 Implementación y pruebas</b>	<b>17</b>
6.1 Diagnóstico y Calibración	17
6.1.1 Introducción	17
6.1.2 Diseño y pruebas	17
6.1.3 Calibración	19
6.1.4 Diagnóstico	21
6.2 Tratamiento	24
6.2.1 Diseño del subsistema de tratamiento	24
6.2.2 Técnica de tratamiento	30
6.3 Conectividad	33
6.3.1 Diseño	34
6.3.2 Funciones principales	36
6.3.3 Conexión bluetooth	39

6.4 Sistema completo	40
<b>7 Conclusiones</b>	<b>41</b>
7.1 Conclusiones	41
7.2 Entregables	42
7.3 Planificación	43
7.4 Presupuesto	44
7.5 Matriz de verificación	45
<b>8 Normativa</b>	<b>46</b>
<b>9 Anexos</b>	<b>48</b>
9.1 Datasheet sensor MyoWareTM	48
9.2 Instrucciones	57
9.3 Fallos	58
<b>Referencias</b>	<b>60</b>

# Índice de Tablas

---

Tabla 4-1 Comparativa estado del arte	12
Tabla 6-1 Características convertidor elevador	26
Tabla 6-2 Características transformador de pulso	27
Tabla 6-3 Características transformador de conmutación	27
Tabla 6-4 Características transistor bjt NPN	28
Tabla 6-5 Características relé SONGLE SRD-05VDC-SL-C	28
Tabla 7-1 Presupuesto	44
Tabla 7-2 Matriz de verificación	45





# Índice de Figuras

---

Figura 4-1 Dispositivo Cerezen	11
Figura 4-2 Dispositivo Grindcare	12
Figura 4-3 Dispositivo BTI APNiA I	12
Figura 4-4 Dispositivo BTI APNiA II	12
Figura 5-1 Diagrama de bloques del sistema	15
Figura 5-2 Diagrama de bloques del sistema propuesto en el proyecto anterior	16
Figura 6-1 Sensor MyoWare™	18
Figura 6-2 Esquema inicial para probar el sensor EMG	18
Figura 6-3 Gráfica de resultado de las primeras pruebas con el sensor EMG	19
Figura 6-4 Algoritmo de función Arduino de calibración	20
Figura 6-5 Algoritmo de función Arduino para diagnóstico	22
Figura 6-6 Algoritmo de la fase de procesamiento de datos	22
Figura 6-7 Dispositivo actuador Quirumed LIPO240	24
Figura 6-8 Diseño electroestimulador I	25
Figura 6-9 Diseño electroestimulador II	25
Figura 6-10 Diseño electroestimulador III	26
Figura 6-11 Convertidor elevador	26
Figura 6-12 Transformador de pulso	27
Figura 6-13 Transformador de conmutación	27
Figura 6-14 Transistor bjt NPN	28
Figura 6-15 Relé SONGLE SRD-05VDC-SL-C	28
Figura 6-16 Esquema electroestimulador final	29
Figura 6-17 Ondas de electroestimulación	30
Figura 6-18 Colocación electrodos en la cervicales	31
Figura 6-19 Colocación electrodos en la mandíbula	32
Figura 6-20 Algoritmo de función Arduino de tratamiento	32
Figura 6-21 Pantalla App I	34
Figura 6-22 Pantalla App II	34
Figura 6-23 Pantalla App III	35
Figura 6-24 Bloque conexión App	36
Figura 6-25 Bloque desconexión App	36
Figura 6-26 Bloque envío de órdenes al Arduino	37
Figura 6-27 Bloque recepción de datos Arduino	37
Figura 6-28 Bloque para mostrar datos en la App	38

Figura 6-29 Módulo bluetooth HC-05	39
Figura 6-30 Esquema diseño completo	40
Figura 7-1 Cinta protectora para sensor y electrodos	41
Figura 7-2 Grafico planificación temporal	43
Figura 9-1 Esquema músculos de la mandíbula	57



# Notación

---

ATM	Articulación Temporomandibular
EMG	Electromiografía
ECG	Electrocardiograma
AT	Atención (Instrucciones codificadas que conforman un lenguaje de comunicación entre el hombre y un terminal módem).
ARMM	Actividad rítmica muscular masticatoria
PSG	Polisomnografía
TENS	Transcutaneous electrical nerve simulation (Método de estimulación eléctrica transcutánea)
AFE	Analog Front End

# 1 ANTECEDENTES

---

La idea de realizar este proyecto tiene lugar en Sevilla, en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros. Es una propuesta de la tutora María del Mar Elena Pérez, y surge con el fin de realizar un prototipo basado en el proyecto de investigación "Diseño de un dispositivo para la detección de bruxismo mediante biofeedback" realizado anteriormente por Patricia Cornejo Cuenca.

El bruxismo consiste en el hábito involuntario de apretar los dientes sin ningún objetivo funcional (masticatorio), y con frecuencia moviéndolos hacia los lados, lo que hace que los dientes rechinen.

La principal causa del bruxismo suele ser el estrés o un estado de agitación emocional, durante el cual, ya sea de día o de noche, la persona aprieta los dientes y los hace rechinar de manera involuntaria.

El objetivo de este proyecto es diseñar e implementar un dispositivo que diagnostique y trate a los pacientes que padezcan bruxismo con el fin de reducir coste y que todo paciente puedan disponer de un dispositivo similar en sus hogares, pero con revisión de su médico.



# 2 INTRODUCCIÓN

---

Este proyecto está destinado a mejorar las técnicas de tratamiento y diagnóstico de pacientes que padezcan de Bruxismo, siendo un prototipo para una futura implementación.

El prototipo será capaz tanto de diagnosticar y tratar al paciente en tiempo real a su vez registrará los datos más relevantes que pueda ayudar al personal médico a asistir al paciente.

## 2.1 Propósito / Alcance del trabajo

El proyecto consistirá en la investigación sobre la enfermedad, análisis del estado del arte, planificación, diseño e implementación de un prototipo con un fin académico.

Cada etapa del proyecto requerirá la aprobación de el/la tutor/a asignado/a al proyecto antes de pasar a la siguiente fase.

El alumno seleccionado debe encargarse de contar con los recursos para diseñar, construir, probar e implementar el proyecto.

Los entregables e hitos específicos se enumerarán en las secciones de Requisitos de trabajo y Horarios e Hitos.

## 2.2 Objetivos

El objetivo principal del proyecto es construir un prototipo para demostrar conceptualmente que es posible diseñar un dispositivo con las características que buscamos por ellos nos fijaremos los siguientes puntos como especificaciones de partida:

- Usaremos técnicas de EMG y serán poco sensible al ruido.
- Haremos uso de un actuador que pueda las técnicas TENS o desarrollaremos un electroestimulador como modelo conceptual.
- Desarrollaremos algoritmos de diagnóstico y tratamiento.
- Se diseñará una App para que se entienda de manera conceptual como sería la conectividad, para la interacción entre el paciente y el dispositivo.
- En la App se almacenará datos.

## 2.3 Requisitos del trabajo

El trabajo del proyecto seguirá el siguiente procedimiento de trabajo:

Fase inicial:

- El alumno realizará un estudio sobre el estado del arte.
- El alumno creará y presentará un plan detallado del proyecto que incluye el cronograma, plan de prueba, plan de implementación.

Fase de diseño:

- Reunir requisitos y establecer métricas.
- Crear varios diseños del prototipo basado en los requisitos recogidos.
- Presentar el estado escrito en la reunión semanal.

Fase de construcción:

- El alumno completará toda la construcción y codificación para el diseño del prototipo.
- El alumno proporcionará un plan de prueba detallado.
- El alumno resolverá los problemas de codificación y de diseño identificados en las pruebas.
- El alumno compilará un informe de prueba para presentarlo para su revisión / aprobación
- Presentar el estado en una reunión.

Transferencia / Cierre del Proyecto:

- El alumno proporcionará a el/la tutor/a toda la documentación de acuerdo con el proyecto.
- El alumno completará la lista de verificación de requisitos del proyecto que muestra que todas las tareas del proyecto se han completado.
- El alumno presentará el informe de cierre del proyecto a un tribunal para su revisión y aprobación.



## 2.4 Requisitos técnicos del proyecto

A continuación se muestra el listado de los requisitos técnicos del proyecto, siguiendo la nomenclatura vista en al titulación.

Funcionales:

- F.1 El sistema diagnosticará actividad muscular.
- F.2 El sistema será capaz de tratar al paciente.
- F.3 El sistema tendrá un sistema para interactuar con el usuario

Prestaciones:

- P.1.1 El sistema será poco sensible al ruido.
- P.2.1 El sistema aplicará técnicas TENS para tratar al paciente
- P.3.1 El sistema almacenará datos en una App.

Diseño:

- D.1 El sistema será portable y de un tamaño reducido

Operación:

- O.1 El sistema se podrá usar remotamente.



# 3 BRUXISMO

---

En este apartado haremos una breve introducción para entender qué intentamos diagnosticar y tratar con el dispositivo que desarrollaremos en este proyecto.

## 3.1 Definición

Bruxismo es un vocablo que proviene del griego *brugmos* que tiene por significado *mordedura, acción de apretar los dientes*.

Podemos encontrar bastantes definiciones acerca del bruxismo, se ha seleccionado dos que nos ayuden a entender la idea:

*El bruxismo es una actividad involuntaria de la musculatura de la mandíbula. En personas despiertas, destaca el apretar los dientes, y muy raramente el rechinarlos. Durante el sueño, se pueden observar ambos el apretamiento, como el rechinar de dientes. El bruxismo nocturno está clasificado dentro de los trastornos del sueño como trastornos de movimiento (1)*

En 2001, Kato, Thie, Montplaisir y Lavigne definieron el bruxismo como:

*Actividad parafuncional oral cuando un individuo está despierto o dormido. Se subclasifica como bruxismo primario y secundario. El bruxismo primario, o idiopático, corresponde al apretamiento diurno y al bruxismo del sueño cuando no se reconocen problemas o causas médicas. El bruxismo secundario, también denominado por ellos "iatrogénico", corresponde a formas de bruxismo asociados a problemas neurológicos, psiquiátricos, desórdenes del sueño y a administración de drogas (2).*

En conclusión, el bruxismo es el acto de apretar la mandíbula y rechinar los dientes inconscientemente.

## 3.2 Clasificación

El bruxismo se puede clasificar según el grado de intensidad, según el movimiento y según el momento en el que se producen los síntomas. (3) (4)

### 3.2.1 Clasificación según el grado de intensidad

**Grado I:** La presentación no es agresiva. Su reproducción es por un corto período de tiempo y a veces, de forma ocasional.

**Grado II:** En este grado la ansiedad ya se encuentra presente. La presentación es inconsciente para la persona y desaparece cuando ésta lo vuelve consciente.

**Grado III:** El hábito de apretar y/o rechinar los dientes es constante, de forma consciente e inconsciente por la persona.

### 3.2.2 Clasificación según el movimiento

**Céntrico:** Se refiere a apretar en un punto determinado ambas arcadas dentarias con un mínimo movimiento excéntrico.

**Excéntrico:** Se produce una destrucción del borde incisal, que suele ser uno de los primeros signos de la patología, al desarrollar movimientos parafuncionales más amplios que interesan en su recorrido a los determinantes de la guía anterior.

### 3.2.3 Clasificación según el momento

**Bruxismo del sueño:** Se produce durante el sueño. Generalmente, el paciente no es consciente.

**Bruxismo de vigilia :** Suele darse durante la vigilia, generalmente de manera inconsciente asociada a periodos de estrés.

## 3.3 Etiología

A pesar de las investigaciones realizadas por el bruxismo aun no queda clara las causas que lo provocan. Aun así se ha ido recogiendo una serie de factores que mencionaremos a continuación (5) (6):

- Factores psicológicos
- Factores morfológicos
- Factores neurológicos
- Factores genéticos
- Factores sistémicos
- Factores de trastorno del sueño
- Factores de disfunción de la columna vertebral
- Factores fisiopatológicos

### 3.4 Epidemiología

El bruxismo se presenta en la misma proporción en hombres y mujeres y disminuye con la edad. Se puede observar en todas las edades aunque niños menores de 13 años apenas lo presentan y en caso de ser así suele remitir en poco tiempo ya que es debido principalmente al crecimiento mientras que niños que ya alcanzan esa edad tienen una prevalencia muy similar a la de los adultos. Se ha descrito como presente en un 6-8% de la población media española y hasta en un tercio de la población mundial. La prevalencia más alta se encontró en asiáticos y la más baja en africanos. El bruxismo puede llegar a alcanzar prevalencias del 6 al 91% y es mucho más frecuente el bruxismo de vigilia que el del sueño. En general los valores asociados a cada grupo son los siguientes:

- Niños y adolescentes: 14 al 20%
- Jóvenes: 15 al 28%
- Adultos: 5 al 8%
- Adultos mayores de 60 años: 3%

La edad más frecuente en su aparición son los 10-14 años en caso de los niños y suele remitir antes de los 40 años en casos de bruxismo crónico.

Es destacable que un mayor nivel intelectual es un factor asociado al bruxismo del sueño en adultos y por tanto tiene mayor prevalencia. (7)

### 3.5 Diagnóstico

Existen distintos métodos para evaluar y clasificar el bruxismo, siendo algunos los usados en odontología. Dichos métodos incluyen cuestionarios, hallazgos clínicos, aparatos intraorales y tensiómetros. También existen los métodos de electromiografía y Polisomnografía. (8)

A continuación, explicaremos distintos métodos de diagnósticos nombrados anteriormente:

- **Cuestionario:** Ayuda a saber si el paciente es consciente o inconsciente cuando se manifiestan los síntomas, la frecuencia con la que los padece e intensidad y los daños causados un ejemplo de cuestionario podría ser:
  1. ¿Has percibido si aprietas o rechinas tus dientes?
  2. ¿Alguien te ha comentado si aprietas o rechinas?
  3. ¿Tienes dolor o fatiga en la sien?
  4. ¿Tienes dolor o fatiga en cuello u hombros?
  5. ¿Has experimentado dificultad para abrir ampliamente la boca?
  6. ¿Consideras que tus dientes se han desgastado muy rápido últimamente?
  7. ¿Has percibido ruidos anormales en tu articulación?
  8. ¿Sientes que descansas, independientemente de las horas que hayas dormido?
  9. ¿Durante el día te sientes cansado/con sueño?
  10. ¿Roncas o alguien te ha mencionado que roncas?
- **Hallazgos clínicos:** Por apretamiento o rechinamiento revisamos distintas posibles zonas afectadas. En diversos componentes orofaciales y cervicales, aspecto facial, hipertrofia de los músculos temporales y maseteros, desgaste dental, tensión o dolor de los músculos mandibulares a la palpación, cefaleas matutinas.

- **Aparatos intraorales:** Se usa una guarda oclusal y por medio de la presencia de facetas de desgaste se podrá identificar si el paciente presenta rechinar de manera inconsciente.
- **EMG:** Registra episodios de actividad muscular masticatoria rítmica durante el sueño de los músculos temporales y masetero. Sin embargo, existe muy baja especificidad y sensibilidad ya que estos episodios no representan únicamente actividad de apretamiento o rechinar.
- **PSG:** Tipo I. Es el estándar más eficaz para el diagnóstico de bruxismo con un 72% de sensibilidad y 94% de especificidad. Consiste en el monitoreo de pruebas como electrocardiograma (ECG), electroencefalograma (EEG) y electrooculograma. El uso de audio y video aumenta la especificidad y la sensibilidad al distinguir entre episodios de RMMA y otras actividades orofaciales Tipos II, III, IV. Ambulatoria (realizada en el hogar): no existe audio ni video. Es posible obtener datos específicos sobre las etapas del sueño, los despertares del sueño, movimiento de piernas, electromiografía y monitoreo de la respiración.

### 3.6 Tratamiento

El tratamiento del bruxismo tiene por objeto disminuir el dolor y tratar de evitar que se produzca un daño dental irreversible.

Algunas medidas que puede tomar el paciente para aliviar los síntomas son:

- Aprender técnicas de relajación que le ayuden a reducir el estrés y la ansiedad.
- Realizar ejercicios de estiramiento indicados por un fisioterapeuta para facilitar la recuperación del equilibrio muscular y articular de ambos lados de la cabeza.
- Esforzarse por relajar los músculos faciales y las mandíbulas durante el día, para intentar convertir esta acción en un hábito.
- Combatir el insomnio instaurando unos buenos hábitos de higiene del sueño.
- Masajear los músculos de cara, cuello y hombros para reducir la sensación dolorosa.
- Evitar aquellos alimentos que resulten duros o de difícil masticación e hidratarse adecuadamente.
- Aplicar calor húmedo.

Para evitar o frenar el daño que se produce en los dientes y disminuir la sobrecarga muscular causada por el bruxismo, se utiliza una férula de descarga, que cumple la misión de proteger la dentadura de la presión que ejerce el paciente cuando los aprieta y rechina. La férula está hecha de resina, es rígida, y puede estar diseñada, además, de forma que contribuya a mantener la mandíbula en una posición más relajada. Aunque la férula se suele colocar por la noche antes de dormir, se debe llevar también durante el día en caso de que sea necesario. El problema es que la férula no suprime el hábito del paciente de apretar los dientes y, al retirarla, vuelven las molestias.

En ocasiones, en algunos pacientes con bruxismo es necesario realizar un tratamiento de ortodoncia para corregir los huesos y los dientes que están mal colocados.

Lo ideal sería conseguir que la persona abandone el hábito. En algunos casos, el problema remite de manera espontánea pero, en aquellos que no es así, se hace imprescindible el uso continuado de la férula para minimizar los daños. Cuando los dientes se aprietan solo durante el día, es más fácil modificar el comportamiento del paciente pero, si el bruxismo es nocturno, resultará mucho más difícil de combatir. Se han probado métodos como la biorretroalimentación o la autohipnosis, con resultados diversos según la severidad del trastorno y la personalidad del paciente. (9)

## 4 ESTADO DEL ARTE

---

Observando el estado del arte aportando en el anterior proyecto (6) mostraremos los dispositivos que actualmente están en el mercado como tratamiento o diagnóstico, excluyendo las férulas de descargas para el bruxismo:

- **Cerezen:**

El dispositivo realiza una biorretroalimentación al sistema muscular masticatorio, al usar el dispositivo el canal auditivo adopta una posición en la que se da cuando la mandíbula está abierta esto proporciona una retroalimentación para romper el ciclo de apretar y rechinar. (10)



Figura 4-1 Dispositivo Cerezen

- **Grindcare:**

El dispositivo Grindcare controla la actividad en el músculo de la mandíbula (temporal) durante la noche a través de un sensor inalámbrico compacto que se adhiere cómodamente **a la sien**.

Cada vez que rechinas o aprietas los dientes, el dispositivo GrindCare transmite un leve impulso contingente. Este impulso estimula un reflejo natural (condicionado) en los músculos de la mandíbula, relajándolos para reducir la molienda sin molestar el sueño.

Por la mañana, los datos recopilados por el sensor se transfieren automáticamente a la estación de acoplamiento de GrindCare y se pueden transmitir de forma inalámbrica a la aplicación GrindCare.



- **BTI APNiA:**

Figura 4-2 Dispositivo Grindcare

Permite la diagnosis y el posterior tratamiento de los pacientes con apneas leves y moderadas.

Está formado por un dispositivo electrónico que realiza el estudio del sueño, un software de diagnóstico y un dispositivo intraoral para tratar al paciente. (11)

Las apneas son provocadas por el bruxismo por eso este sistema incorpora una férula de descarga. (12)



Figura 4-4 Dispositivo BTI APNiA II



Figura 4-3 Dispositivo BTI APNiA I

A continuación, incluimos una tabla comparativa de los productos encontrados:

Tabla 4-1 Comparativa estado del arte

Dispositivo	¿Diagnostico?	¿Tratamiento?	¿TENS?	¿App o software para consulta?	Precio
Cerezen	No	Si. Aumentan el espacio mandibular	No	No	590€
BTI APNiA	Si. Mediante oximetría frecuencia cardíaca posición corporal ronquido	Si, Férula de descarga	No	Si. Software de diagnóstico	-
Grindcare	Si. EMG	Si. Impulsos eléctricos leves	No	Si. Volcado de datos en App.	-



La primera observación es que hay pocos dispositivos que intenten tratar el bruxismo innovando el método más usado en la actualidad, que es la férula de descarga y también respecto a la revisión citada en el anterior proyecto, (6) se ha comprobado que otros dispositivos como bite strip ha dejado de fabricarse.

Con los datos recogidos llegamos a la conclusión de que sigue sin existir un dispositivo que diagnostique el bruxismo y lo trate. Debido a que Grindcare diagnostica la actividad muscular de un paciente ya reconocido como bruxista y actúa mediante impulsos para mitigar el rechinar. Por otra parte el producto BTI APNiA diagnostica a un paciente indicando si tiene apnea, que son causas del bruxismo pero el tratamiento sigue siendo una férula de descarga.

Por ello este proyecto es innovador respecto a los demás dispositivos encontrados, porque trata de aunar la forma de diagnosticar la enfermedad mediante la actividad muscular de la mandíbula y a su vez incorpora la función de tratar el bruxismo mediante técnicas TENS que ya están en prácticas para otros fines y su uso puede ofrecer grandes beneficios contra esta enfermedad.



## 5 ANÁLISIS DE DISEÑO

Primero mostraremos el diagrama de bloques de nuestro sistema:

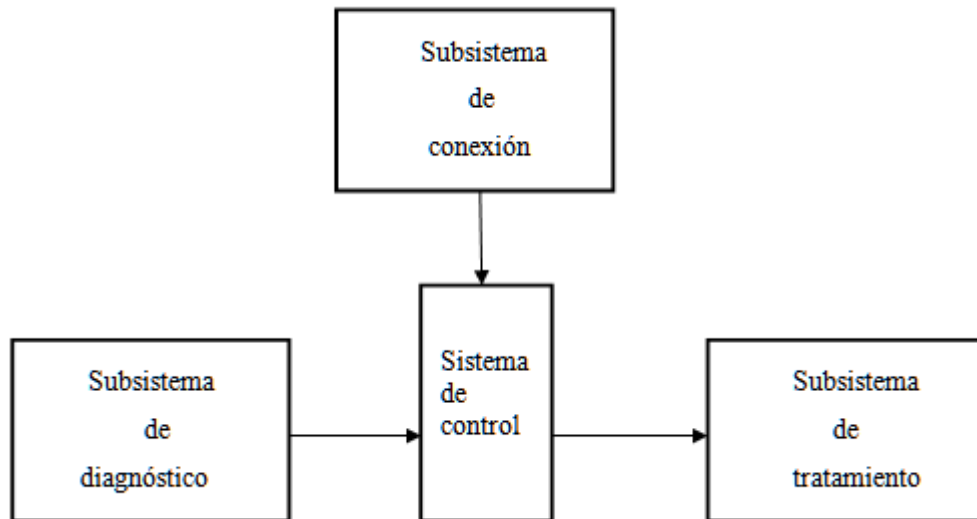


Figura 5-1 Diagrama de bloques del sistema

- **Sistema de control:**  
Este sistema es el encargado del control del dispositivo, consistirá en un microcontrador Arduino UNO desde donde controlaremos los demás subsistemas.
- **Subsistema de diagnóstico:**  
La finalidad de este circuito es la del registro de la actividad muscular de la mandíbula mediante electromiografía (EMG).
- **Subsistema de tratamiento:**  
Este es el circuito actuador encargado del tratamiento mediante electroestimulación aplicará las técnicas TENS.
- **Subsistema de conexión:**  
Este subsistema consiste en una App que permitirá interactuar con el dispositivo.

Tras describir nuestro sistema compararemos con la elección del proyecto anterior a este (6) :

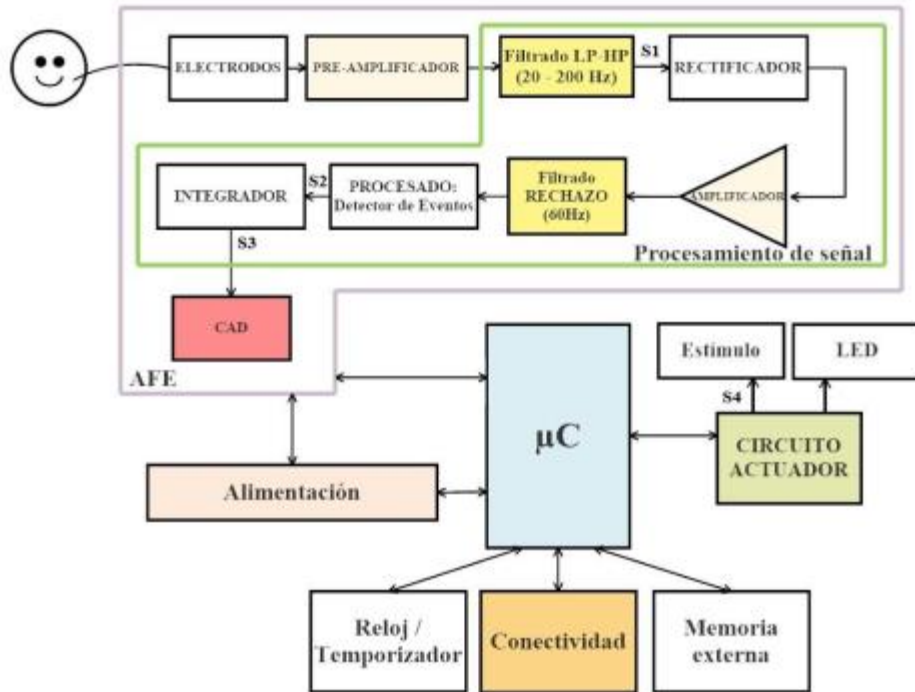


Figura 5-2 Diagrama de bloques del sistema propuesto en el proyecto anterior

- AFE, para esta parte tal como se comenta en la investigación anterior es preferible usar un sensor EMG que realice esta función con mayor eficacia.
- Alimentación, usaremos pilas.
- Microcontrolador, por disponibilidad usaremos el Arduino uno para el primer prototipo.
- Circuito actuador/estímulo, para este apartado se hará un diseño propio de un electroestimulador en lugar de usar un actuador comercial propuesto en la anterior investigación.
- Reloj/conectividad/Memoria Externa, En este apartado usaremos un módulo bluetooth para Arduino HC-05 y un teléfono móvil para el cual desarrollaremos una App diferenciando en que juntamos todo estos bloques en el teléfono móvil y no usando de memorias externas.

## 6 IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS

### 6.1 Diagnóstico y Calibración

#### 6.1.1 Introducción

En este apartado realizamos el diseño y pruebas de un sensor para EMG (electromiografía) que consiste básicamente en la adquisición, registro y análisis de la actividad eléctrica generada en nervios y músculos a través de la utilización de electrodos superficiales. En el caso en concreto del bruxismo del sueño se han desarrollado unos criterios diagnósticos de investigación mediante la cuantificación y clasificación de los episodios de bruxismo (13), en los que nos basaremos para el desarrollo de este apartado.

Los sistemas de registro electromiográfico portátiles fueron desarrollados a principios de los años 70. Estos sistemas pueden estimar la actividad muscular masticatoria mediante la medición, durante periodos de tiempo, del número, intensidad y magnitud de los eventos bruxistas con una precisión aceptable.

Aunque se han propuesto criterios específicos para la detección de actividad bruxista con sistemas de registro portátil de electromiografía (EMG), su validez en amplias muestras de población no ha sido todavía establecida en la actualidad. Los resultados obtenidos con ambos sistemas pueden no registrar de modo fiable el estado de bruxismo en un momento determinado, dado el elevado grado de variabilidad del registro entre las distintas noches, así como el grado de incomodidad que generan ambos métodos de registro (presencia de cables y electrodos en la cara del paciente, o de una férula en el interior de la boca, que puede reducir o exacerbar la actividad bruxista).

Otra de las limitaciones de estos dispositivos de registro EMG portátil es que tienden a sobreestimar la actividad relacionada con el bruxismo al carecer de registros de audio y vídeo. Ciertos estudios han demostrado que en los pacientes bruxistas hasta un 30% de la actividad muscular mandibular presente NO es específica de los episodios de bruxismo. Los dentistas que utilicen este tipo de registros EMG para el diagnóstico de bruxismo deberían ser conscientes de la posibilidad de la presencia de un trastorno del sueño concomitante (p.ej., movimientos periódicos de miembros).

Los criterios diagnósticos validados para el diagnóstico de bruxismo en un laboratorio del sueño muestran niveles de sensibilidad de un 72% y de especificidad del 94%. Pese a que el estudio de polisomnografía completa no se emplea de modo rutinario para el diagnóstico de bruxismo del sueño excepto para propósitos de investigación, el clínico debería adoptar la estrategia de remitir al paciente a un laboratorio del sueño cuando exista la sospecha de coexistencia de otro trastorno del sueño (apnea del sueño, epilepsia relacionada con el sueño, trastorno de comportamiento en sueño REM, trastornos neurológicos o movimientos periódicos de miembros) .

#### 6.1.2 Diseño y pruebas

Basándonos en la investigación realizada en el proyecto "Diseño de un dispositivo para la detección de bruxismo mediante biofeedback" hemos concluido que para este prototipo utilizaremos el Sensor **MyoWare™ Muscle Sensor** y haremos un estudio de su viabilidad.



Figura 6-1 Sensor MyoWareTM

En primer lugar para probar el funcionamiento del sensor, se realizó un pequeño montaje donde se incluía un servomotor:

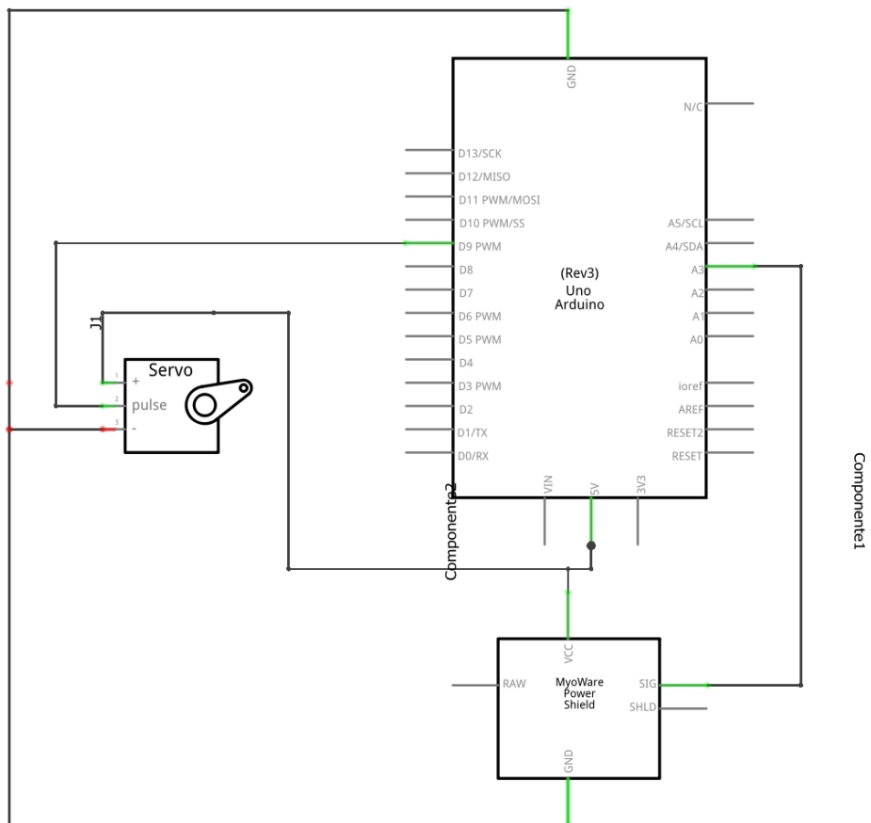


Figura 6-2 Esquema inicial para probar el sensor EMG

En principio detectamos que la lectura del Arduino captaba mucho ruido en la entrada del sensor debido a la antigüedad de los dispositivos, probamos a reemplazar el Arduino por uno nuevo obteniendo una señal bastante más limpia pero aun así seguía siendo un tanto elevada- El problema era que el sensor estaba en mal estado por ello reemplazamos el sensor, con estos cambios obtuvimos los siguiente resultados:

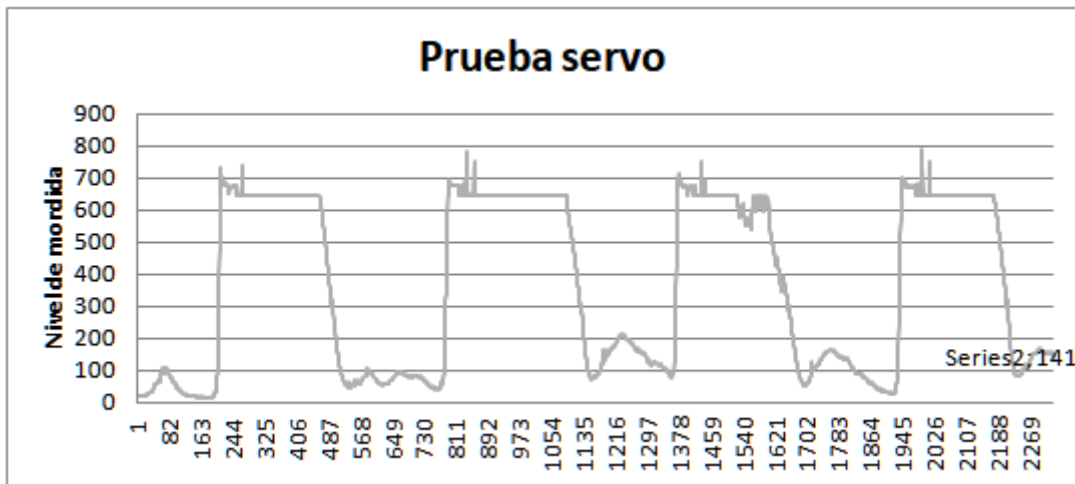


Figura 6-3 Gráfica de resultado de las primeras pruebas con el sensor EMG

Se puede observar que la señal sin ejercer fuerza con la mandíbula está por debajo de nivel 100 que equivale aproximadamente a 0,5 V. Normalmente en reposo estará en un nivel de 0,05 V, cuando se ejerce fuerza con la mandíbula lo detecta perfectamente y también detecta todo el tiempo que se mantiene esta fuerza, ofreciendo una gran precisión y velocidad en la detección de la actividad muscular de la mandíbula.

### 6.1.3 Calibración

En este apartado del proyecto buscamos la forma de encontrar un umbral desde el cual partir para poder realizar el diagnóstico y aplicar el tratamiento.

El umbral que buscamos es el límite donde ya consideramos que el nivel de amplitud muscular de la mandíbula no es la adecuada. Para determinar el límite hemos realizado el siguiente algoritmo, el cual nos permite recoger con el sensor EMG las muestras de la actividad muscular cuando la mandíbula está ejerciendo la máxima presión, con el paciente está despierto.

El algoritmo es el siguiente:

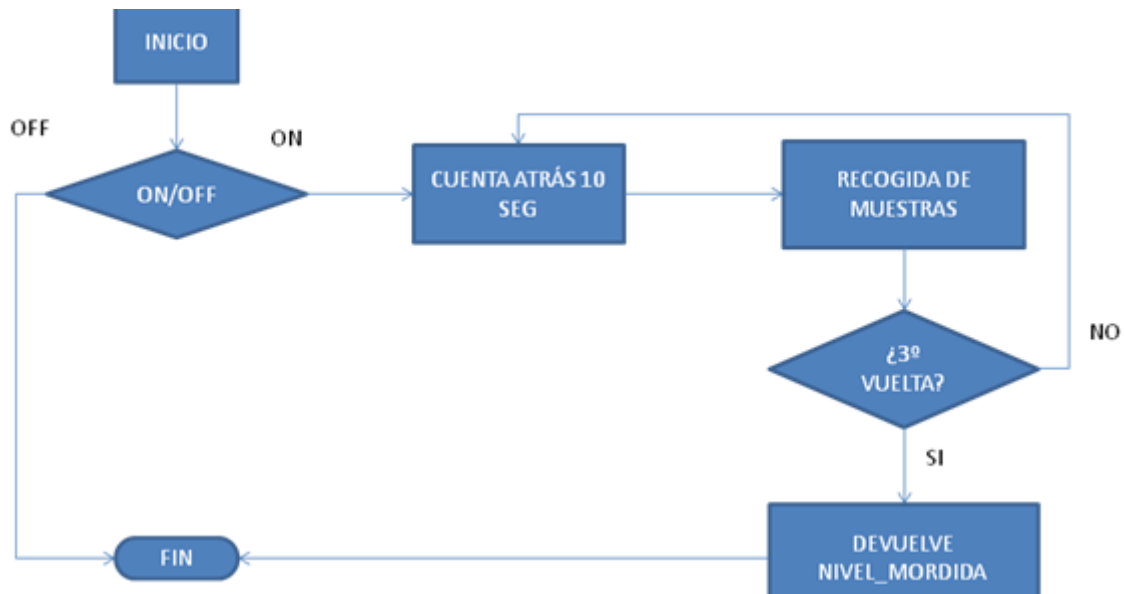


Figura 6-4 Algoritmo de función Arduino de calibración

Cuando se activa la función de calibración comienza a recoger muestras, el dispositivo solicita al paciente que realice fuerza con la mandíbula. Durante la recogida de muestra habrá una cuenta atrás con la suficiente duración para que se establezcan los impulsos, originando por la actividad muscular de la mandíbula. Este proceso para obtener un umbral más preciso se realiza varias veces y calcula una media de las muestras obtenidas.



### 6.1.4 Diagnóstico

El objetivo de este apartado es registrar la actividad muscular de la mandíbula mientras el paciente duerme y determinar si el paciente padece de bruxismo.

Para determinar si el paciente tiene actividad bruxista, hemos desarrollado un algoritmo basándonos en los criterios obtenidos de investigaciones desarrollados para el diagnóstico, mediante la cuantificación y clasificación de los episodios de ARMM en el estudio polisomnográfico son los siguientes:

1. La amplitud media del registro EMG debe ser como mínimo el 10% de actividad de máximo apretamiento voluntario diurno.
2. Existen diferentes tipos de episodios de ARMM:
  - Episodio fásico: como mínimo 3 brotes de actividad EMG de una duración entre  $\geq 0.25$  segundos y  $< 2$  segundos.
  - Episodio tónico: 1 brote de actividad EMG que dura  $> 2$  segundos.
  - Episodios mixtos: presencia de brotes tanto tónicos como fásicos.
  - En cualquier caso y para ser considerados parte de un mismo episodio de bruxismo, los brotes deben de estar separados por  $< 2$  segundos.

El diagnóstico de bruxismo se debe de realizar en base a:

- El índice de ARMM: número de episodios de ARMM por hora de sueño.
- El índice de brotes: número de brotes de actividad electromiográfica por hora de sueño.
- El índice de tiempo de bruxismo (%): tiempo total “bruxando”/tiempo total del sueño x 100.
- Sonidos de rechinar dentario: al menos 1 episodio de ARMM con presencia de ruido de rechinar dentario.

El diagnóstico positivo de bruxismo del sueño se realiza en base a la frecuencia de episodios de EMG con historia positiva de rechinar dentario o la confirmación en el laboratorio del sueño. En estos casos el mejor nivel de fiabilidad se obtiene con registro de audio-vídeo y la presencia de al menos dos episodios de ARMM con ruidos de rechinar dentario.

El bruxismo, en base a estos criterios se clasifica como:

- BAJA FRECUENCIA DE BRUXISMO: cuando el índice de ARMM es  $\geq 2$  y  $< 4$
- ALTA FRECUENCIA DE BRUXISMO: cuando el índice de ARMM es  $\geq 4$

Basándonos en los criterios anteriores hemos desarrollado el siguiente algoritmo:

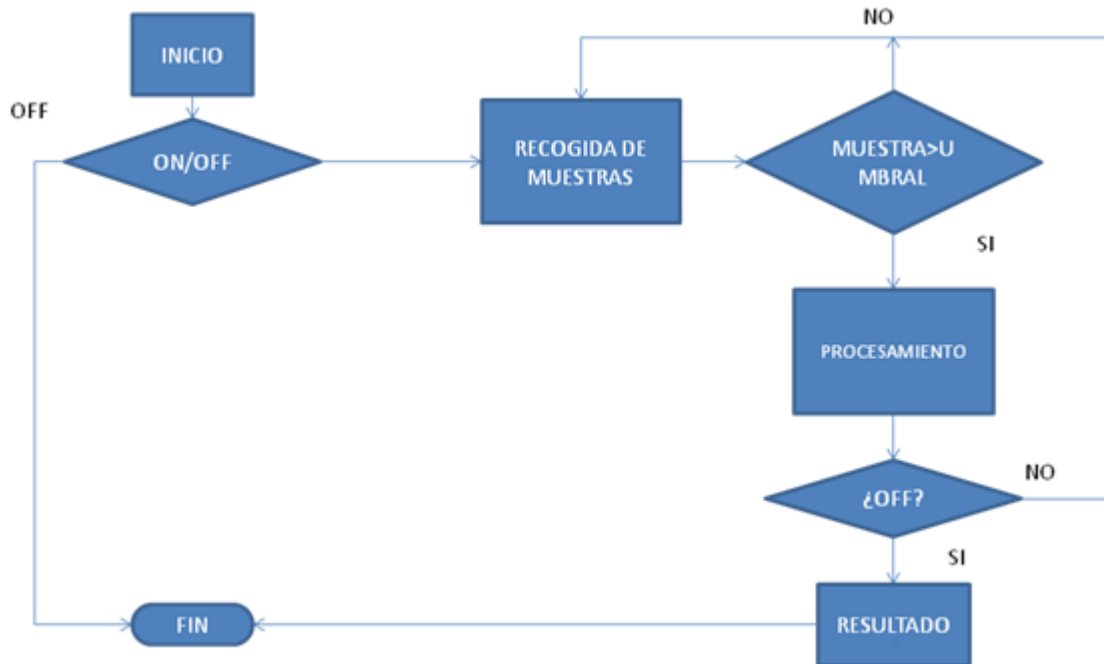


Figura 6-5 Algoritmo de función Arduino para diagnóstico

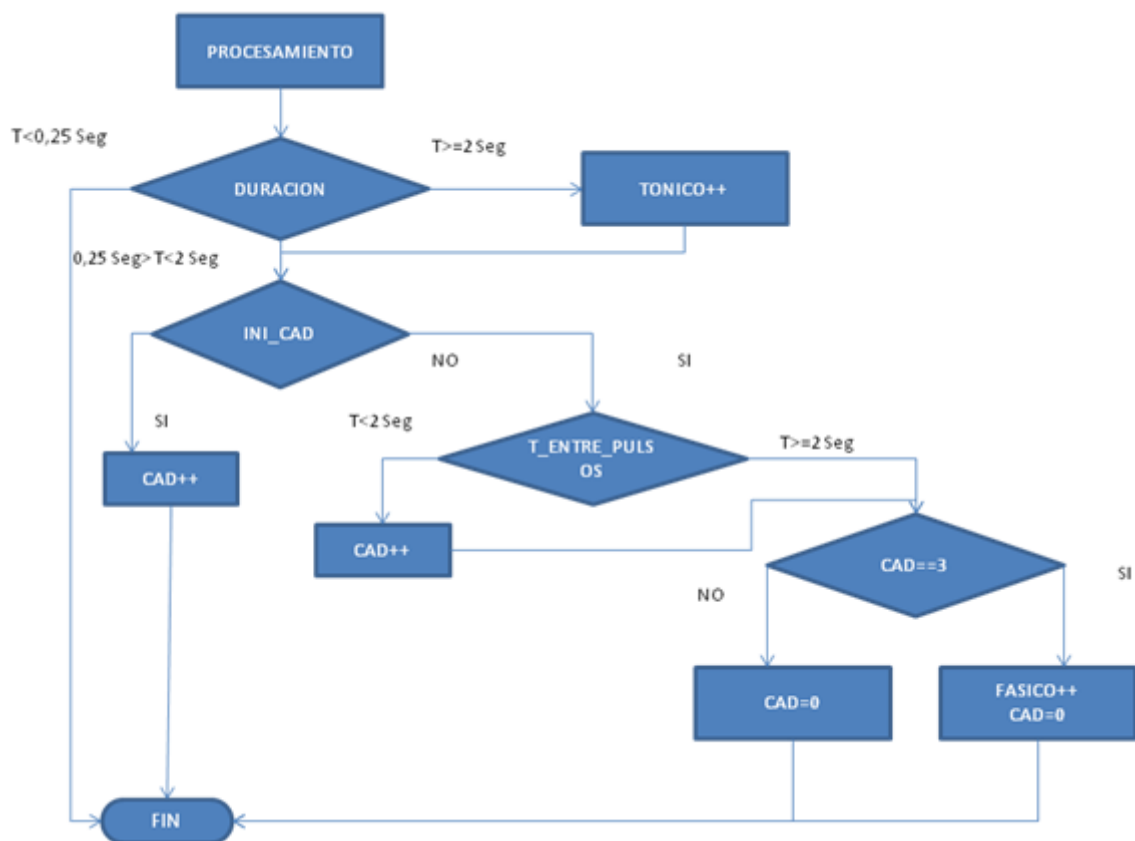


Figura 6-6 Algoritmo de la fase de procesamiento de datos

En este algoritmo consideramos que las cadenas de brotes podrán estar compuesta por todas las combinaciones entre brotes fásicos y tónicos.

Cuando se alcanza el requisito mínimo de tres botes empezamos a contabilizar una nueva cadena. El motivo es

---

que si siguieran los brotes dentro de esa cadena, podría tratarse de un caso grave de bruxismo y solo se contabilizaría como una cadena. De esta forma evitamos que pueda ocurrir que el índice ARMM no sea lo suficiente elevado como para clasificarse como un caso grave y se diagnostique como un caso menor, de este modo aseguramos el diagnóstico preciso.

## 6.2 Tratamiento

En este apartado comenzaremos explicando el subsistema de tratamiento. Existían dos posibilidades la incorporación de un sistema electroestimulador existente y adaptarlo a nuestras necesidades del proyecto o realizar un diseño propio como prueba de concepto y probar con ello que es una opción más económica y fiable para nuestro fin.

### 6.2.1 Diseño del subsistema de tratamiento

En primer lugar la idea era usar un electroestimulador TENS, en el momento que se detectara inicios de los síntomas bruxista, lo activaríamos y aplicaría el tratamiento citado anteriormente. Disponíamos del modelo Quirumed LIPO240:

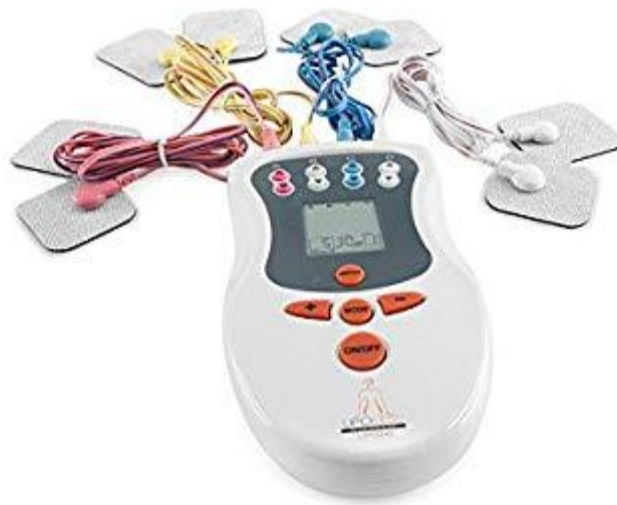


Figura 6-7 Dispositivo actuador Quirumed LIPO240

El problema era que necesitábamos tener disponible la estimulación para cualquier momento de la noche y este dispositivo puede funcionar durante 90 minutos como máximo.

Por ello la solución que vimos fue diseñar un electroestimulador para Arduino y poder activarlo a nuestro criterio.

Para ello, buscamos algunos diseños de donde partir, se muestran a continuación los elegidos inicialmente:

(14)

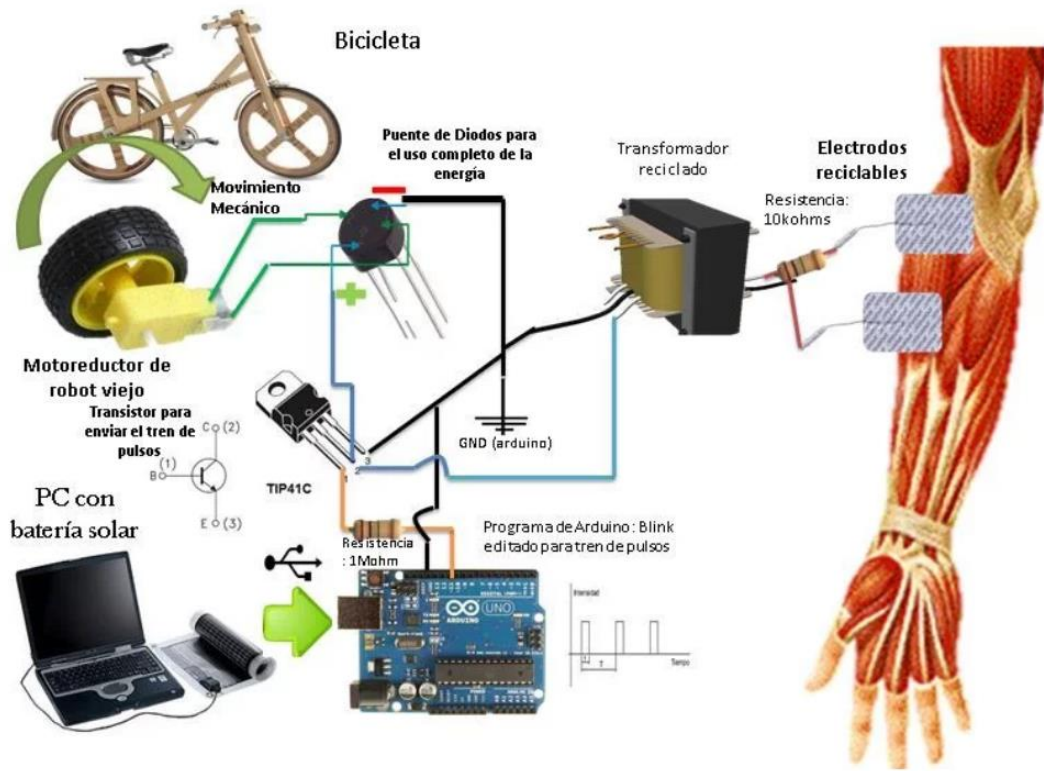


Figura 6-8 Diseño electroestimulador I

(15)

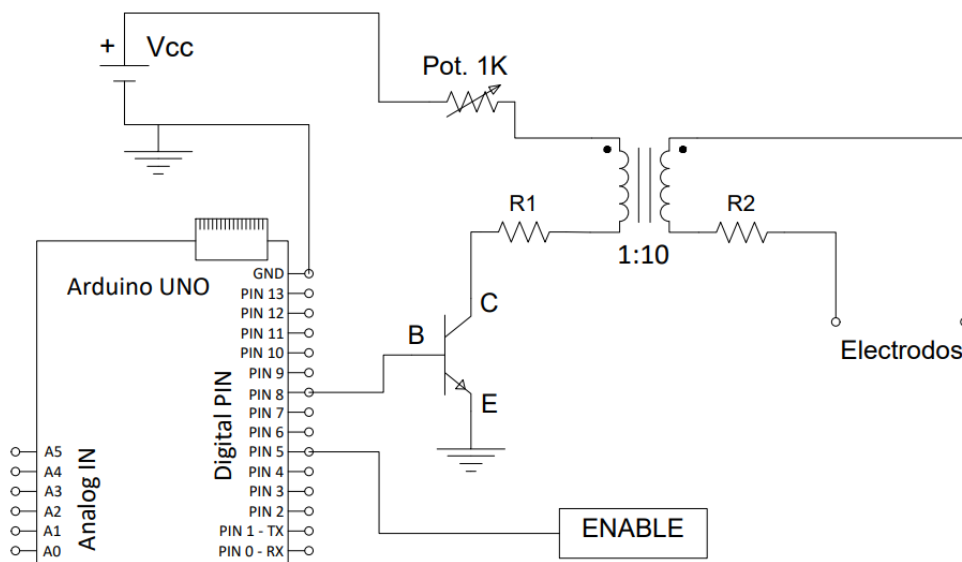


Figura 6-9 Diseño electroestimulador II

(15)

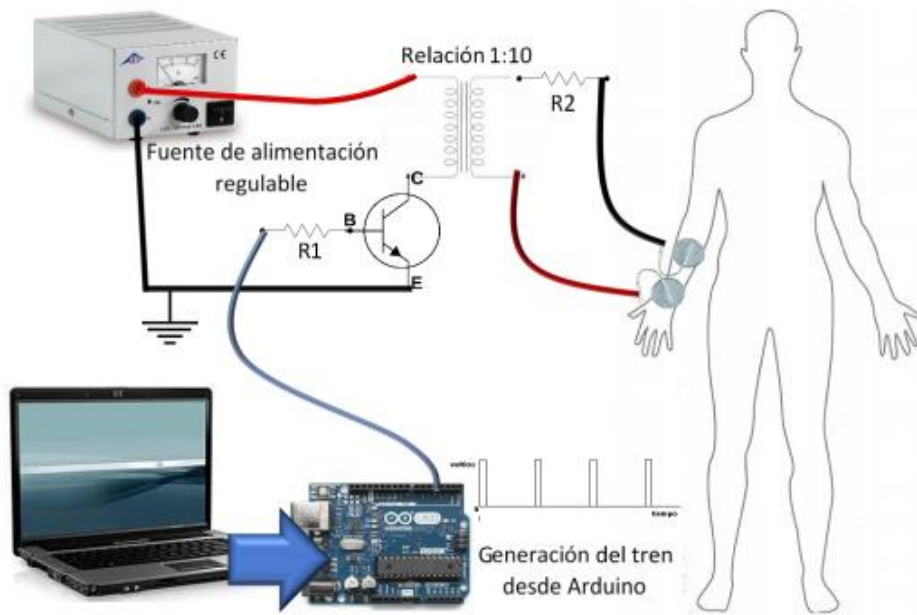


Figura 6-10 Diseño electroestimador III

De los diseños anteriores sacamos nuestro diseño que explicaremos a continuación:

El primer paso fue la elección de un transformador para alimentar los electrodos de salida, escogimos tres posibles soluciones:

La primera opción fue usar un convertidor elevador:

Tabla 6-1 Características convertidor elevador

<p>Características del módulo impulso no aislada (boost):                  Voltaje de entrada: CC 8.5-48V.                  Corriente de entrada: 10A (MAX).                  Voltaje de salida: 10-50V ajustable.                  Corriente de salida: 10A MAX</p>	<p>Figura 6-11 Convertidor elevador</p>
--	---


La segunda opción fue usar un transformador de pulso:

Tabla 6-2 Características transformador de pulso

<p>Características:  Relación de sintonizado: 1:10  Voltaje de entrada: 3-24V  Corriente de salida: 5A</p>	 <p>Figura 6-12 Transformador de pulso</p>
--	--

La última elección fue un transformador extraído de un electroestimulador reciclado:

Tabla 6-3 Características transformador de conmutación

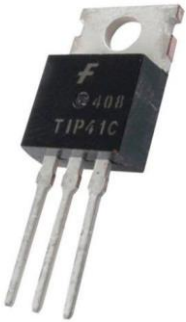
<p>Características del High-Frequency transformador (EE-19):  Frecuencia de trabajo: 20-500KHz  Potencia de salida: 1W-3000W  Voltaje de salida: 0.5V-5000V  Corriente de salida: 0.01 A-100A</p>	 <p>Figura 6-13 Transformador de conmutación</p>
---	--

Probamos los tres transformadores siendo la tercera opción la elegida, debido a que es un transformador para fuentes de conmutación la única solución que diera resultado, debido a que podría trabajar con trenes de pulsos de frecuencia variable y capaz de amplificar lo suficiente para aplicar a la carga sin producir daños.

El siguiente paso fue la elección un dispositivo para realizar la oscilación para la salida, para ello se probaron dos opciones:

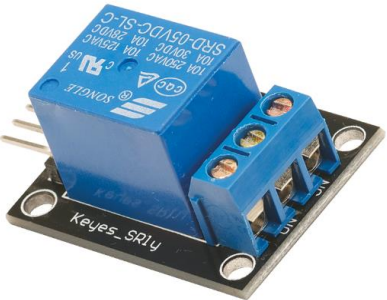
Primero se usó un transistor bjt NPN (Tip41C)

Tabla 6-4 Características transistor bjt NPN

<p>Características:</p> <p>VCBO Collector-base voltage (<math>I_E = 0</math>) 100 V</p> <p>VCEO Collector-emitter voltage (<math>I_B = 0</math>) 100 V</p> <p>VEBO Emitte-base voltage (<math>I_C = 0</math>) 5 V</p> <p><math>I_C</math> Collector current 6 A</p> <p><math>I_{CM}</math> Collector peak current (<math>t_P &lt; 5ms</math>) 10 A</p> <p><math>I_B</math> Base current 3 A</p>	 <p>Figura 6-14 Transistor bjt NPN</p>
---	--

La segunda opción fue usar el relé SONGLE SRD-05VDC-SL-C

Tabla 6-5 Características relé SONGLE SRD-05VDC-SL-C

<p>Características:</p> <p>Relé electromecánico con bobina de 5 V</p> <p>Contactos NA y NC de 10A/250VAC, 10A/30VDC</p> <p>5 pines de conexión</p> <p>Resistencia de la bobina: 70 <math>\Omega</math> aprox.</p> <p>Expectativa de vida: 100.000 accionamientos</p> <p>Dimensiones: 19×15.5×15.3 mm aprox.</p>	 <p>Figura 6-15 Relé SONGLE SRD-05VDC-SL-C</p>
---	--

Con esta última opción y usando el Arduino como oscilador conseguimos implementar el electroestimulador. Capaz de generar un tren de pulso con la suficiente tensión e intensidad para poder aplicar la electroestimulación. Debido a que el transistor bjt no soportaba tal carga:



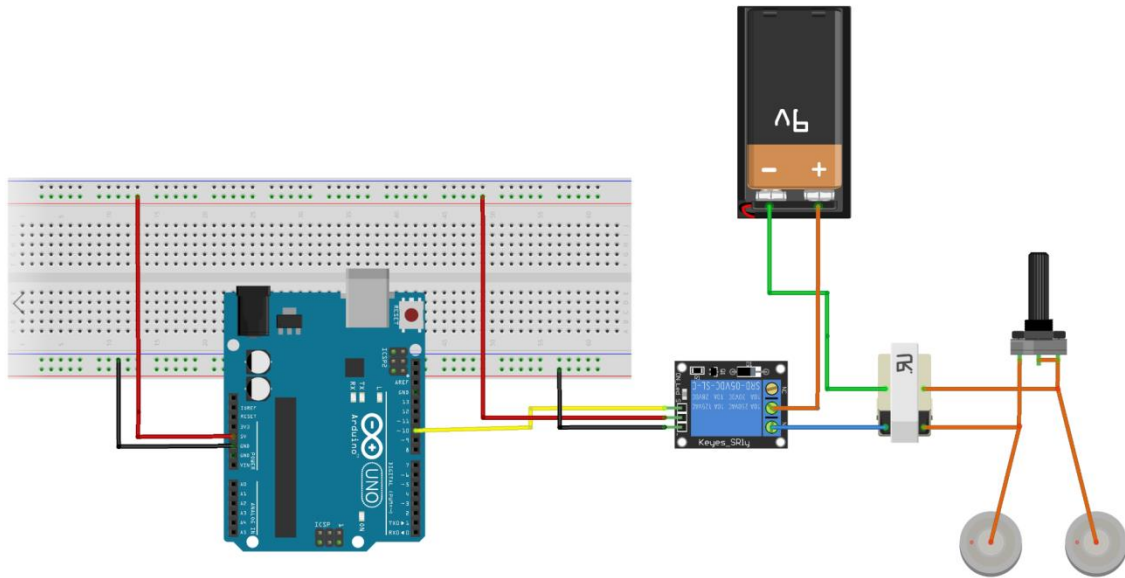


Figura 6-16 Esquema electroestimador final

## 6.2.2 Técnica de tratamiento

Esta parte del trabajo es la encargada de mitigar los síntomas del bruxismos cuando el paciente presente estos síntomas mientras duerme.

Para ello aplicaremos las técnicas TENS. Se trata de una técnica no invasiva, fácil de aplicar, que utiliza la corriente alterna de baja frecuencia con fines analgésicos, y que ha supuesto un importante avance en el tratamiento de los procesos dolorosos tanto agudos como crónicos.

Desde el año 1.970, fecha en la que aparecieron los primeros T.E.N.S. portátiles, el empleo de la analgesia eléctrica se ha ido incrementando día a día gracias a su sencillez de manejo, eficacia y carencia de efectos indeseados.

Básicamente, existen cinco métodos de estimulación, cada uno de los cuales puede luego aplicarse bajo el modo de baja o media frecuencia. Estos métodos son los siguientes:

### Métodos de estimulación

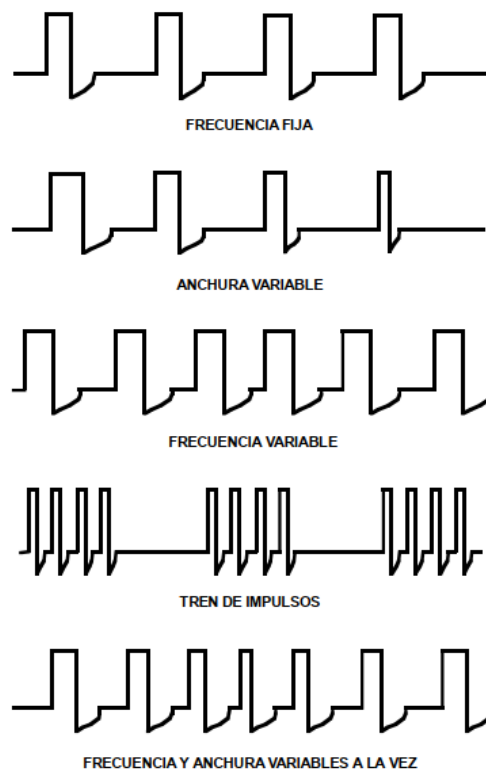


Figura 6-17 Ondas de electroestimulación

La recomendación es que se use los dos siguientes modos:

- a) Estimulación a baja frecuencia. Utilizar el método de frecuencia fija a 2 Hz.
- b) Para estimulación a media frecuencia. Utilizar el método de frecuencia y anchura variables modulando el ancho entre 100 y 200  $\mu$ seg. y la frecuencia entre 80 Hz y 125 Hz.

En el caso de un paciente bruxista la forma de aplicar la técnica TENS es:

- a) Una primera fase de 20 a 30 minutos de duración bajo la modalidad de media frecuencia con objeto de conseguir un alivio inicial rápido. La programación del equipo se fija en 80Hz o 130 Hz a frecuencia y anchura variables y los electrodos, de 50x50 mm, se sitúan sobre los músculos del trapecio tal y como muestra en la figura. La intensidad se regula hasta notar una sensación de hormigueo en la zona estimulada y subiéndola paulatinamente hasta quedar justo por debajo del límite del dolor.



Figura 6-18 Colocación electrodos en la cervicales

- b) La segunda fase, tiene como objetivo conseguir la descontracturación de los músculos que intervienen en la masticación a fin de intentar eliminar la causa que origina el dolor. Se inicia inmediatamente después de terminar la primera fase, procediendo de la siguiente manera:

1º Reprogramar el equipo a la modalidad de baja frecuencia a 2 Hz y frecuencia fija.

2º Sustituir los electrodos por otros de menor tamaño (30 mm  $\phi$ ).

3º Aplicar uno de los electrodos del primer canal a un lado de la cara, a la altura del trago del maxilar y, el otro electrodo, sobre la nuca a unos dos dedos por debajo del nacimiento del pelo y ligeramente ladeado hacia el mismo lado en que se encuentra su pareja. Los dos electrodos del segundo canal, se aplican de igual manera, sólo que sobre el otro lado de la cara.

4º Regular la intensidad hasta conseguir una situación de equilibrio en las contracciones a ambos lados de la mandíbula. Para que la estimulación no resulte desagradable, es importante evitar que las contracciones sean demasiado fuertes. La duración de ésta segunda fase puede prolongarse entre 45 y 60 minutos. (16)



Figura 6-19 Colocación electrodos en la mandíbula

El algoritmo que genera las oscilaciones está basado en los programas explicados anteriormente:

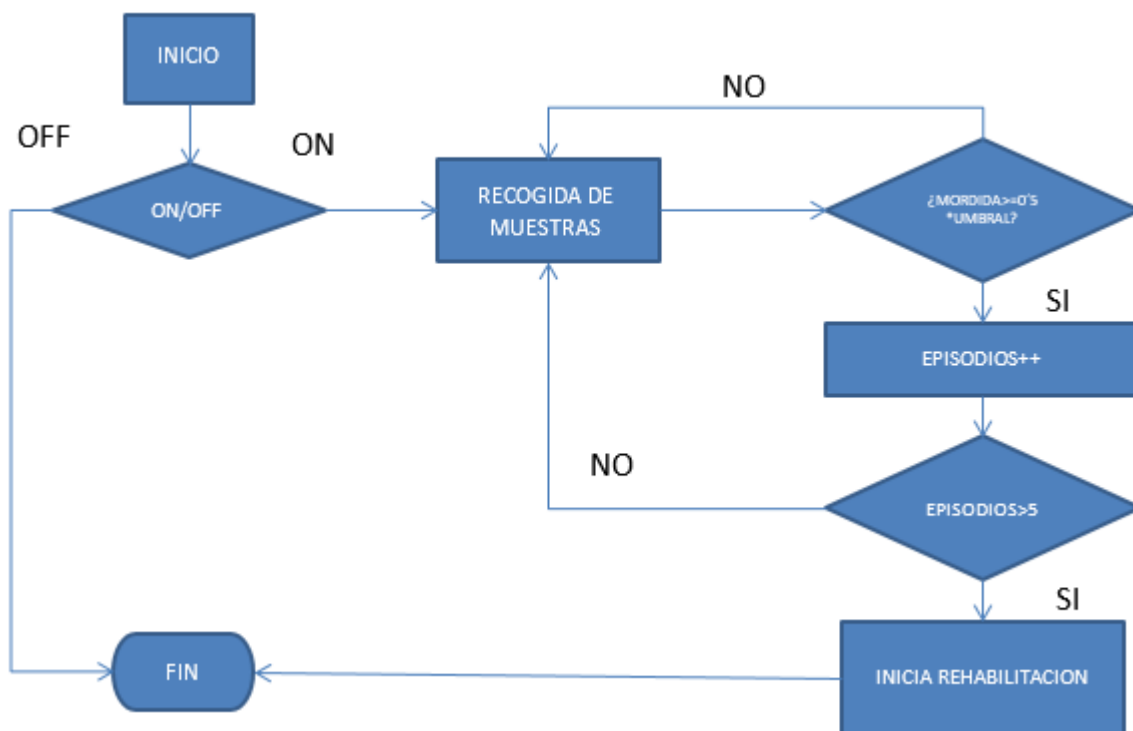


Figura 6-20 Algoritmo de función Arduino de tratamiento

## 6.3 Conectividad

En este apartado indicaremos como hemos desarrollado una App para probar de modo conceptual que es posible realizar una conexión bluetooth e interactuar con el dispositivo y almacenar datos.

Para desarrollar la App hemos usado la aplicación MIT App inventor, es un entorno de programación visual que permite crear aplicaciones totalmente funcionales para teléfonos y tablets.

Para nuestro proyecto hemos usado un teléfono con sistema operativo Android.

A continuación explicaremos:

- Diseño.
- Conexión bluetooth
- Interacción con el Arduino
- Almacenamiento

Antes explicaremos varios componentes usados no visibles en la App:

- TinyDB:  
TinyDB es un almacén de datos persistente para la aplicación. Los datos almacenados en un TinyDB estarán disponibles cada vez que se ejecute la aplicación. Los elementos de datos son cadenas almacenadas bajo etiquetas.
- Reloj:  
Componente no visible que proporciona el instante en el tiempo mediante el reloj interno del teléfono. Es posible disparar un temporizador a intervalos regulares y realizar cálculos de tiempo, manipulaciones y conversiones.
- BluetoothClient:  
Componente de cliente bluetooth.
- Notificador:  
El componente Notifier muestra diálogos de alerta, mensajes y alertas temporales, y crea entradas de registro de Android.

### 6.3.1 Diseño

La App consta de tres pantallas:

La pantalla principal donde encontramos los botones para enviar ordenes al dispositivo y para cambiar de pantallas, también encontramos un textbox donde indica al usuario en qué fase nos encontramos o indica que debe hacer.

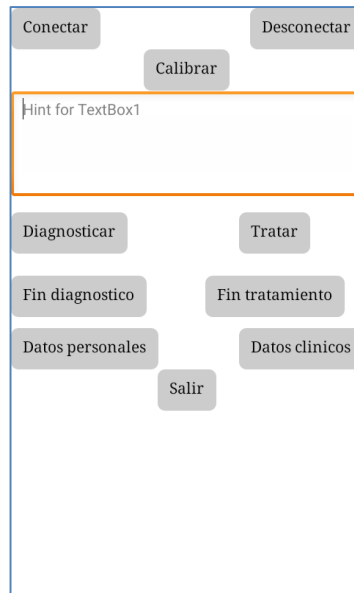
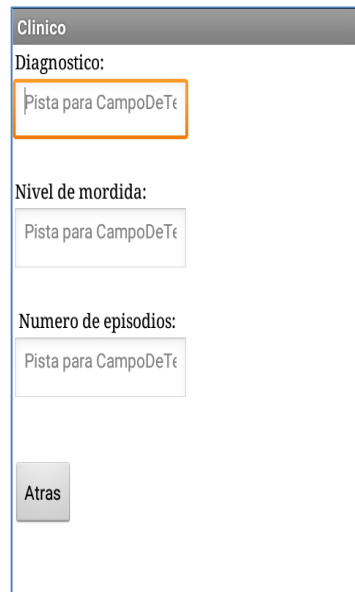


Figura 6-21 Pantalla App I

La segunda pantalla consta de un cuestionario sobre datos personales de interés para el doctor como puede ser si el paciente consume alcohol, fuma, incluso si realiza deporte:

Figura 6-22 Pantalla App II

Por último, la tercera pantalla es la que muestra los datos clínicos del paciente como el nivel de mordida máximo que se detecta tras la calibración, el diagnóstico de si padece bruxismo y por último, indica si al usuario si la última noche que uso el dispositivo fue tratado o no.



Clinico

Diagnostico:  
Pista para CampoDeTe

Nivel de mordida:  
Pista para CampoDeTe

Numero de episodios:  
Pista para CampoDeTe

Atras

Figura 6-23 Pantalla App III

### 6.3.2 Funciones principales

En este apartado mostraremos las funciones principales desarrolladas con App Inventor usadas para interactuar con el microcontrolador Arduino.

Esta función es la encargada de realizar la conexión con el Arduino:

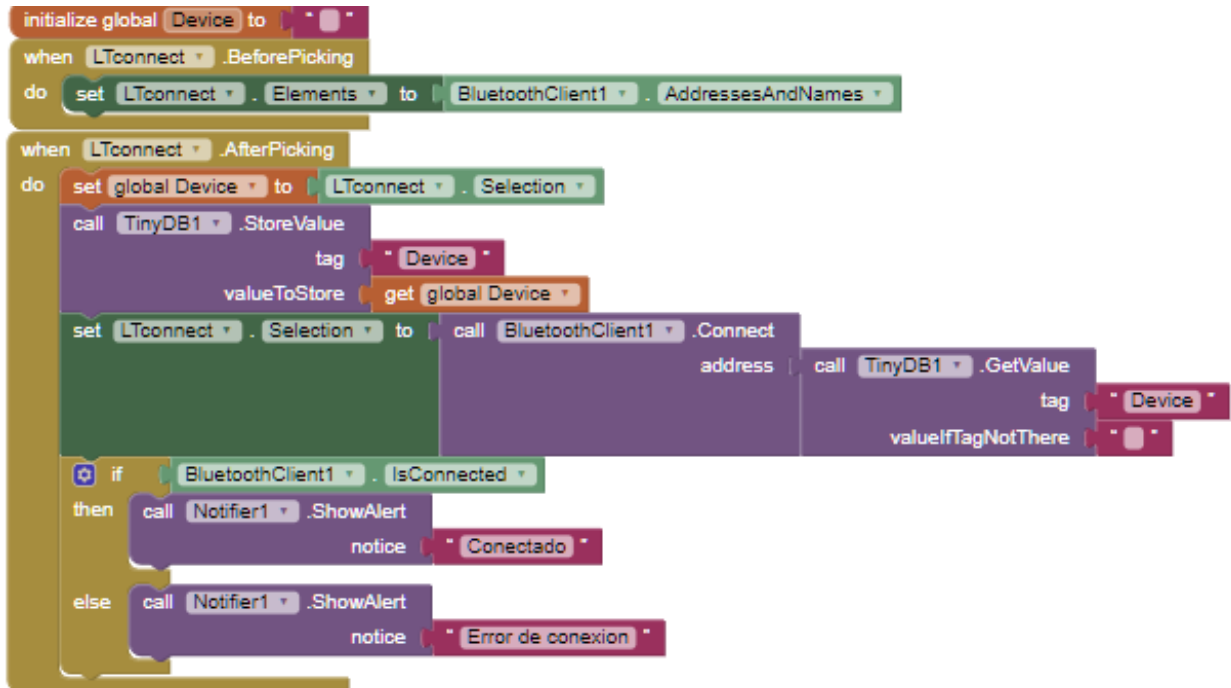


Figura 6-24 Bloque conexión App

En resumen cuando se pulsa el botón para realizar la conexión, se muestra todos los dispositivos bluetooth dentro del alcance y al seleccionar el módulo HC-05 guarda la dirección bluetooth en una variable global, realiza la conexión y muestra una alerta con el resultado.

La siguiente función es la encargada de realizar la desconexión.

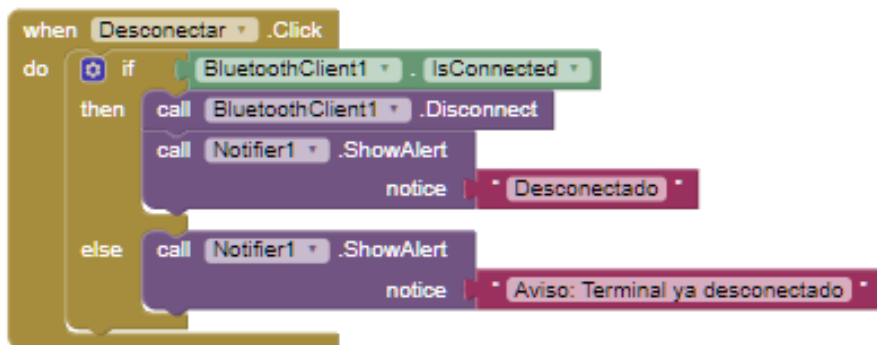


Figura 6-25 Bloque desconexión App



Con este bloque seleccionamos la función deseada:

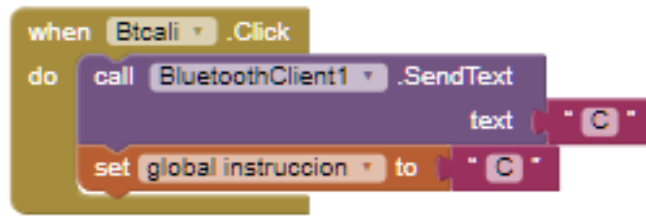


Figura 6-26 Bloque envío de órdenes al Arduino

Enviamos un carácter con el que diferenciamos en el código de Arduino la función que queremos usar.

A continuación, mostramos la función encargada de almacenar en la base de datos, los datos recibidos desde el Arduino:

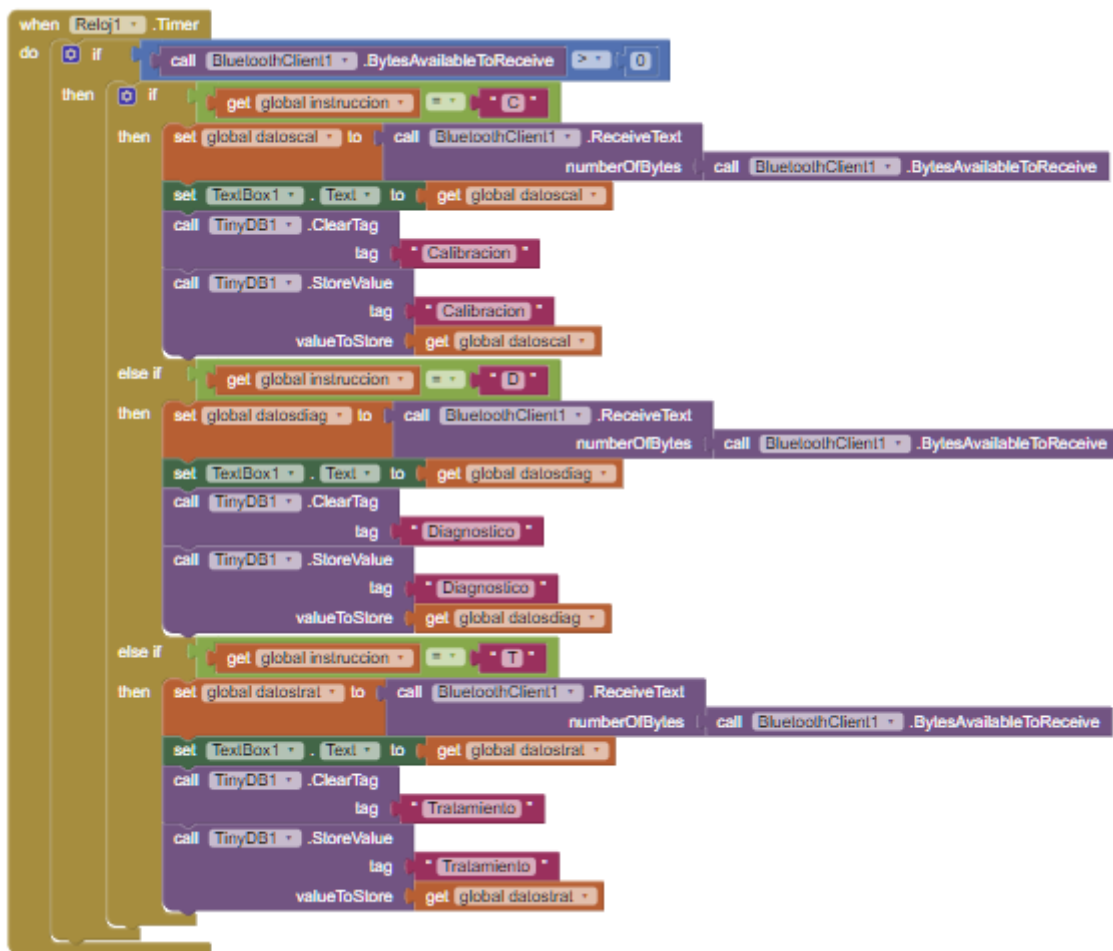


Figura 6-27 Bloque recepción de datos Arduino

Usamos un temporizador que cada segundo comprueba si se ha recibido algún dato, cuando se detecta un dato distinguimos cuál es la última función llamada y lo almacenamos en una posición según la función llamada.

Los datos recibidos serán el nivel de mordida recibido por la función de calibración, el diagnóstico y por último se indicará si se ha tratado o no la última vez que se usó la función de tratamiento.

Por último, de este modo mostramos los datos recibidos desde el Arduino,

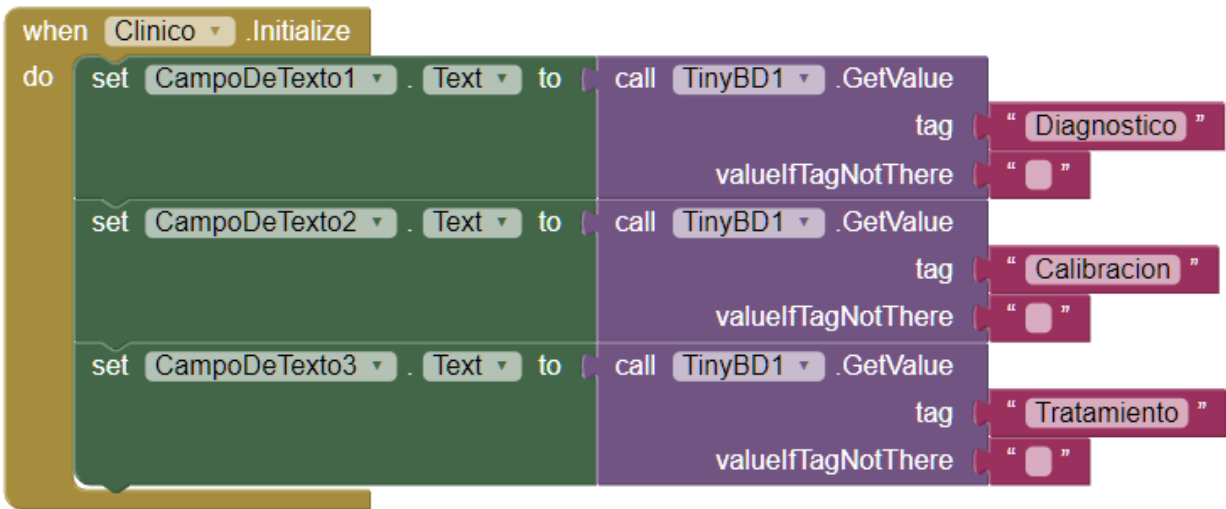


Figura 6-28 Bloque para mostrar datos en la App

### 6.3.3 Conexión bluetooth

Para la conexión bluetooth hacemos uso del módulo HC-05 de Arduino. Este módulo es un módulo Maestro-Esclavo, esto quiere decir, que además de recibir conexiones desde una PC o Tablet, también es capaz de generar conexiones hacia otros dispositivos bluetooth.



Figura 6-29 Módulo bluetooth HC-05

Características módulo HC-05 (17):

- Especificación Bluetooth v2.0 + EDR (Enhanced Data Rate)
- Puede configurarse como maestro, esclavo, y esclavo con autoconexión (Loopback) mediante comandos AT
- Chip de radio: CSR BC417143
- Frecuencia: 2.4 GHz, banda ISM
- Modulación: GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying)
- Antena de PCB incorporada
- Potencia de emisión:  $\leq 4$  dBm, Clase 2
- Alcance 5 m a 10 m
- Sensibilidad:  $\leq -84$  dBm a 0.1% BER
- Velocidad: Asíncronica: 2.1 Mbps (max.)/160 kbps, sincrónica: 1 Mbps/1 Mbps
- Seguridad: Autenticación y encriptación (Password por defecto: 1234)
- Perfiles: Puerto serial Bluetooth
- Módulo montado en tarjeta con regulador de voltaje y 6 pines suministrando acceso a VCC, GND, TXD, RXD, KEY y status LED (STATE)
- Consumo de corriente: 50 mA
- El pin RX del módulo requiere resistencia de pull-up a 3.3 V (4.7 k a 10 k). Si el microcontrolador no tiene resistencia de pull-up interna en el pin Tx se debe poner externamente.
- Niveles lógicos: 3.3 V. Conectarlos a señales con voltajes mayores, como por ej. 5 V, puede dañar el módulo
- Voltaje de alimentación: 3.6 V a 6 V
- Dimensiones totales: 1.7 cm x 4 cm aprox.
- Temperatura de operación: -20 °C a +75 °C

## 6.4 Sistema completo

Este es el esquema del sistema completo:

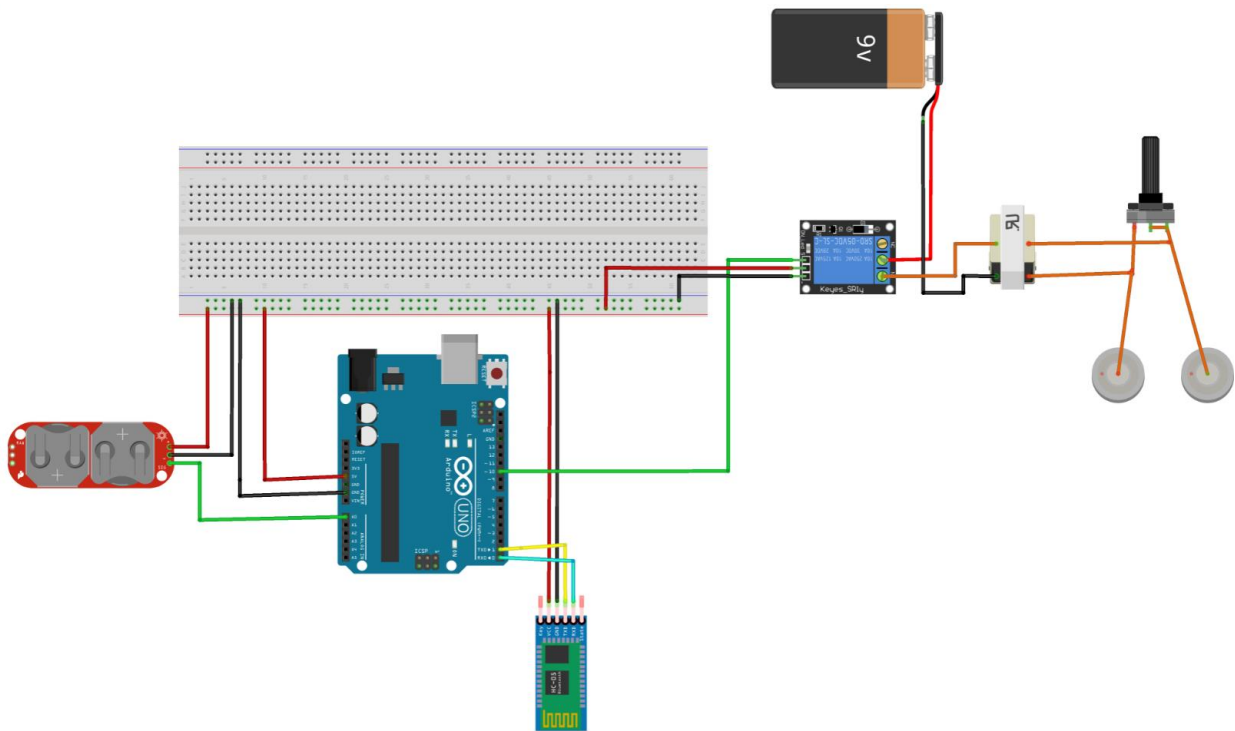


Figura 6-30 Esquema diseño completo

# 7 CONCLUSIONES

## 7.1 Conclusiones

Hemos alcanzado el objetivo buscado:

- Hemos encontrado un sensor para electromiografía bastante resistente a los movimientos que pueda producir el paciente y poco sensible al ruido, podría mejorarse introduciéndolo en una cinta alrededor de la mandíbula e incorporar unos sensores en ella junto a los electrodos, con esto evitaríamos que el sensor se despegara. Un ejemplo sería (18):



Figura 7-1 Cinta protectora para sensor y electrodos

- En la parte del electroestimulador hemos conseguido un diseño que simule un electroestimulador TENS, para un futuro diseño sustituiría el relé por otro componente ya que este es muy ruidoso.
- En la parte de conectividad se ha conseguido el objetivo buscado de crear una App de modo conceptual para probar que se puede realizar una conexión bluetooth con el dispositivo y almacenar datos, aunque en futuros diseños se podría incorporar un servidor web y usarlo como almacenaje de datos para que el doctor que trate al paciente pueda acceder a su historial fácilmente.
- Para finalizar, concluimos con que se ha cumplido cada requisito del proyecto y hemos logrado el objetivo buscado y este proyecto podrá dar a futuros prototipos comerciales bajo las correspondientes pruebas y validación necesaria para su uso en entornos sanitarios.

## 7.2 Entregables

Ahora detallaremos los entregables acordados:

- Documentación sobre el bruxismo.
- Estado del arte.
- Elección de microcontrolador y sensor EMG.
- Caracterización del sensor EMG.
- Subsistema de diagnóstico.
- Elección del subsistema de tratamiento.
- Subsistema de tratamiento.
- Subsistema de conexión.
- Sistema completo.
- Documentación final.

### 7.3 Planificación

El proyecto se ha llevado a cabo a partir de Septiembre de 2018 hasta la segunda semana de Febrero de 2019. Hacen un total de 23 semanas pudiendo dedicar 10 horas/semana hacen un total 230 horas.

A continuación, se muestra la planificación del proyecto:



Figura 7-2 Grafico planificación temporal

#### Como se observa del total de tiempo se ha usado:

- Para diseño; 7 semanas, este tiempo se justifica en el tiempo que hemos invertido en la elección del microcontrolador, en la elección del sensor para EMG y el tiempo invertido en usar un electroestimulador, que al final hemos usado un electroestimulador que hemos diseñado.
- Para el tiempo de implementación y pruebas, que van unidos, hemos dividido el dispositivo en subsistemas que hemos ido probando por separado y luego hemos realizado un testeo final del conjunto completo. Hemos usado 9 semanas para la implementación y 5 semanas de pruebas.
- Para la documentación, hemos invertido 2 semanas, entre los primeros días para la investigación del bruxismo y el estado del arte tanto como la documentación final.

## 7.4 Presupuesto

Tabla 7-1 Presupuesto

COMPONENTE	PRECIO (inc. IVA)	Proveedor	Código proveedor
Arduino uno	24,89 €	Rs-Amidata	769-7409
Sensor -EMG MyoWareTM	35,63 €	Mouser	474-SEN-13723
Potenciómetro 10k	2,04 €	Rs-Amidata	249-9238
Relé SRD-05VDC-SL-C DC 5V	5,21 €	Amazon	-
Transformador SMPS	4,21 €	Rs-Amidata	418-5509
Electrodos adhesivos redondos, 26 mm, (30 Unidades)	17,50 €	Amazon	-
RecoverPad 20pcs 50x50mm Profesional TENS Electrodo	14,99 €	Amazon	
Mano de obra 1 ingeniero(25€/hora)	230x25=5750€		
<b>TOTAL</b>	<b>5854,47€</b>		



## 7.5 Matriz de verificación

Tabla 7-2 Matriz de verificación

Req.	Verificación				Nombre de prueba	Estado
	I	A	D	T		
F.1			X		Pruebas de recogida de muestras	ok
F.2			X		Pruebas de tratamiento	ok
F.3			X		Demostración del uso sistema	ok
P.1.1	X				Prueba del sensor junto a un actuador	ok
P.2.1		X			Comprobación de impulsos aplicados	pendiente
P.3.1	X				Demostración de memoria	ok
D.1	X				Medida de dimensiones	pendiente
O.1			X		Prueba de conexiones	ok

## 8 NORMATIVA

Si se quiere comercializar el dispositivo tendrán que cumplirse las normas citadas en (19) :

UNE-EN-60601-1-2 *Equipos electromédicos. Parte 1-2: Requisitos generales para la seguridad básica y funcionamiento esencial. Norma colateral: Compatibilidad electromagnética. Requisitos y ensayos.*

IEC 60417 *Símbolos gráficos a utilizar sobre los equipos.*

IEC 60601-1:2005 *Equipos electromédicos. Parte 1: Requisitos generales para la seguridad básica y funcionamiento esencial.*

IEC 60601-1-8:2006 *Equipos electromédicos. Parte 1-8: Requisitos generales para la seguridad básica y funcionamiento esencial. Norma Colateral: Requisitos generales, ensayos y guía para los sistemas de alarma en los equipos electromédicos y sistemas electromédicos.*

IEC 61000-3-2 *Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 3-2: Límites. Límites para las emisiones de corriente armónica (equipos con corriente de entrada 16 A por fase).*

IEC 61000-3-3 *Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 3: Límites. Sección 3: Limitación de las fluctuaciones de tensión y del flicker en redes de baja tensión para los equipos con corrientes de entrada 16 A.*

IEC 61000-4-2 *Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4: Técnicas de ensayo y de medida. Sección 2: Ensayos de inmunidad a las descargas electrostáticas.*

IEC 61000-4-3 *Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4-3: Técnicas de ensayo y de medida. Ensayos de inmunidad a los campos electromagnéticos, radiados y de radiofrecuencia.*

IEC 61000-4-4 *Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4-4: Técnicas de ensayo y de medida. Ensayos de inmunidad a los transitorios eléctricos rápidos en ráfagas.*

IEC 61000-4-5 *Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4-5: Técnicas de ensayo y de medida. Ensayos de inmunidad a las ondas de choque.*

IEC 61000-4-6:2003<sup>3</sup> *Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4: Técnicas de ensayo y de medida. Sección 6: Inmunidad a las perturbaciones conducidas, inducidas por los campos de radiofrecuencia.*

Modificación 1 (2004)

Modificación 2 (2006)

IEC 61000-4-8 *Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4: Técnicas de ensayo y de medida. Sección 8: Ensayo de inmunidad a los campos magnéticos a frecuencia industrial.*

IEC 61000-4-11 *Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4-11: Técnicas de ensayo y de medida. Ensayos de inmunidad a los huecos de tensión, interrupciones breves y variaciones de tensión.*

CISPR 11 *Límites y métodos de medida de las características relativas a las perturbaciones radioeléctricas de los aparatos industriales, científicos y médicos (ICM) que producen energía en radiofrecuencia.*

CISPR 14-1 *Compatibilidad electromagnética. Requisitos para aparatos electrodomésticos, herramientas eléctricas y aparatos análogos. Parte 1: Emisión.*

CISPR 15 *Límites y métodos de medida de las características relativas a la perturbación radioeléctrica de los equipos de iluminación y similares.*

CISPR 16-1-2 *Especificación para los métodos y aparatos de medida de las perturbaciones radioeléctricas y de la inmunidad a las perturbaciones radioeléctricas. Parte 1-2: Aparatos de medida de las perturbaciones radioeléctricas y de la inmunidad a las perturbaciones radioeléctricas. Equipo(s) auxiliar(es). Perturbaciones conducidas.*

*CISPR 22 Equipos de tecnología de la información. Características de las perturbaciones radioeléctricas. Límites y métodos de medida.*

# 9 ANEXOS

---

## 9.1 Datasheet sensor MyoWareTM



© 2015

## 3-lead Muscle / Electromyography Sensor for Microcontroller Applications

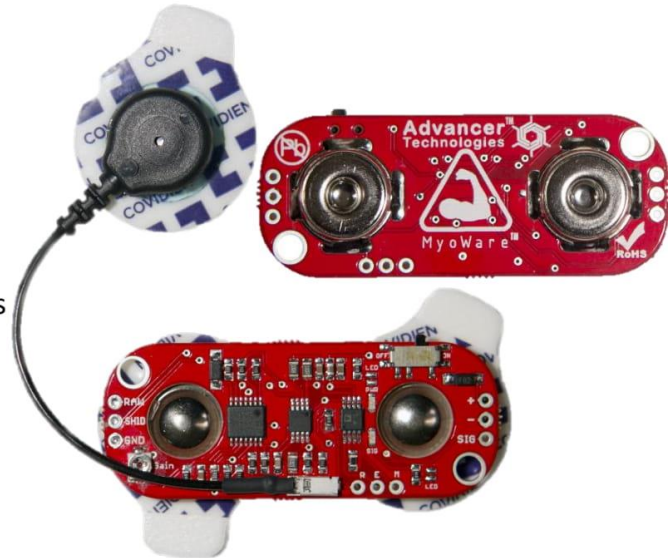
**MyoWare™ Muscle Sensor (AT-04-001)**
**DATASHEET**

### FEATURES

- *NEW* - Wearable Design
- *NEW* - Single Supply
  - +2.9V to +5.7V
  - Polarity reversal protection
- *NEW* - Two Output Modes
  - EMG Envelope
  - Raw EMG
- *NEW* - Expandable via Shields
- *NEW* - LED Indicators
- Specially Designed For Microcontrollers
- Adjustable Gain

### APPLICATIONS

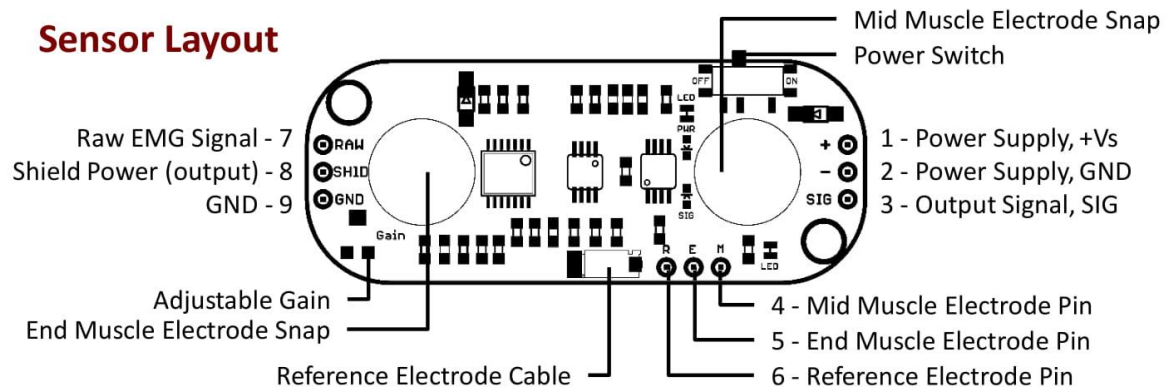
- Video games
- Robotics
- Medical Devices
- Wearable/Mobile Electronics
- Prosthetics/Orthotics



### What is electromyography?

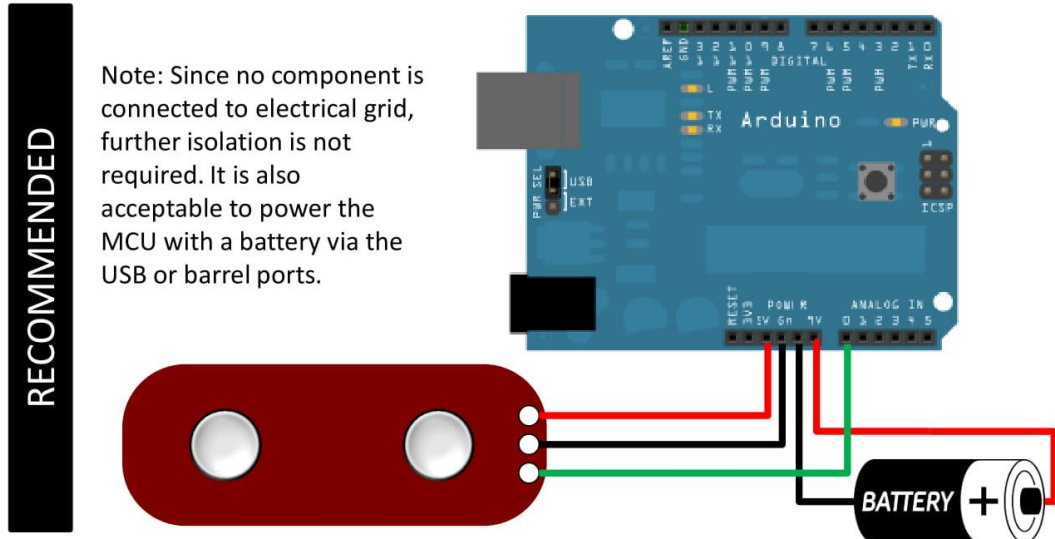
Measuring muscle activation via electric potential, referred to as electromyography (EMG), has traditionally been used for medical research and diagnosis of neuromuscular disorders. However, with the advent of ever shrinking yet more powerful microcontrollers and integrated circuits, EMG circuits and sensors have found their way into prosthetics, robotics and other control systems.

### Sensor Layout

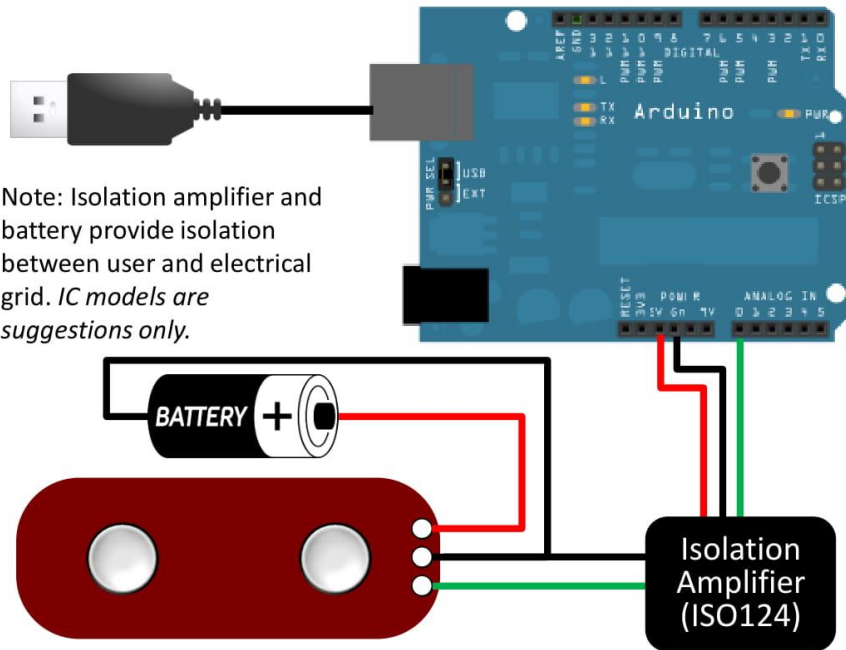
EMAIL: [support@advancer.co](mailto:support@advancer.co)
**Advancer™  
Technologies**
[www.AdvancerTechnologies.com](http://www.AdvancerTechnologies.com)

### Setup Configurations *(Arduino is shown but MyoWare is compatible with most development boards)*

#### a) Battery powered with isolation via no direct external connections



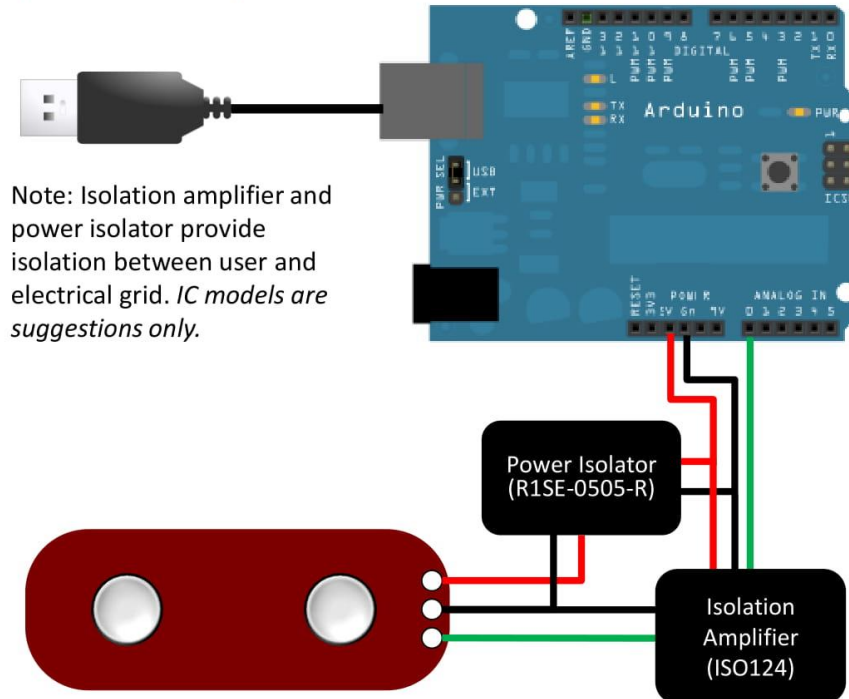
#### b) Battery powered sensor, Grid powered MCU with output isolation



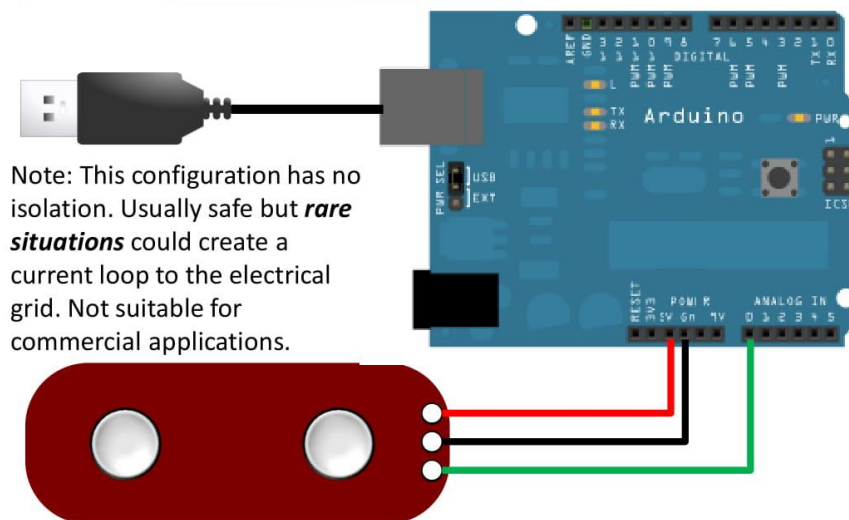
*(Note: Arduino and batteries not included. Arduino setup is only an example; sensor will work with numerous other devices.)*

## Setup Configurations (cont'd)

### c) Grid powered with power and output isolation

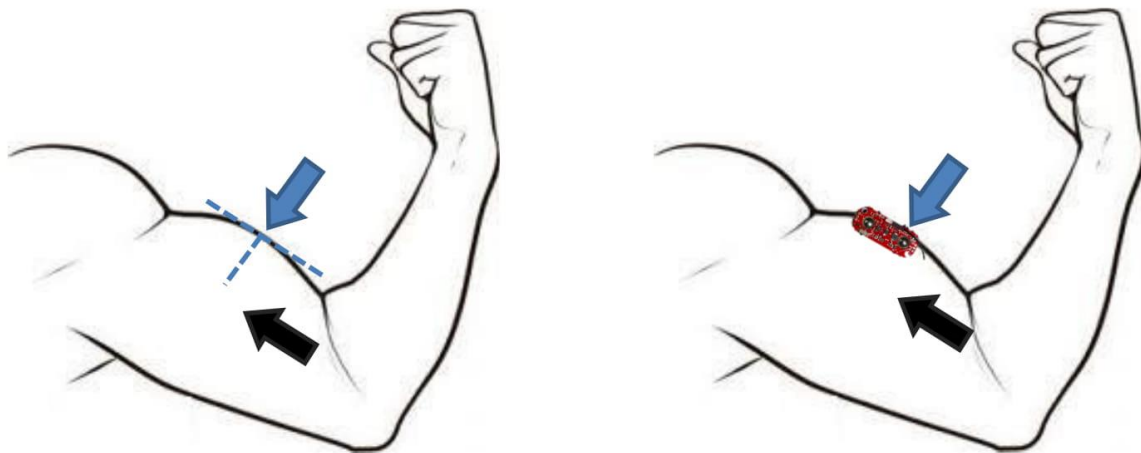


### d) Grid powered. **Warning: No isolation.**





## Setup Instructions



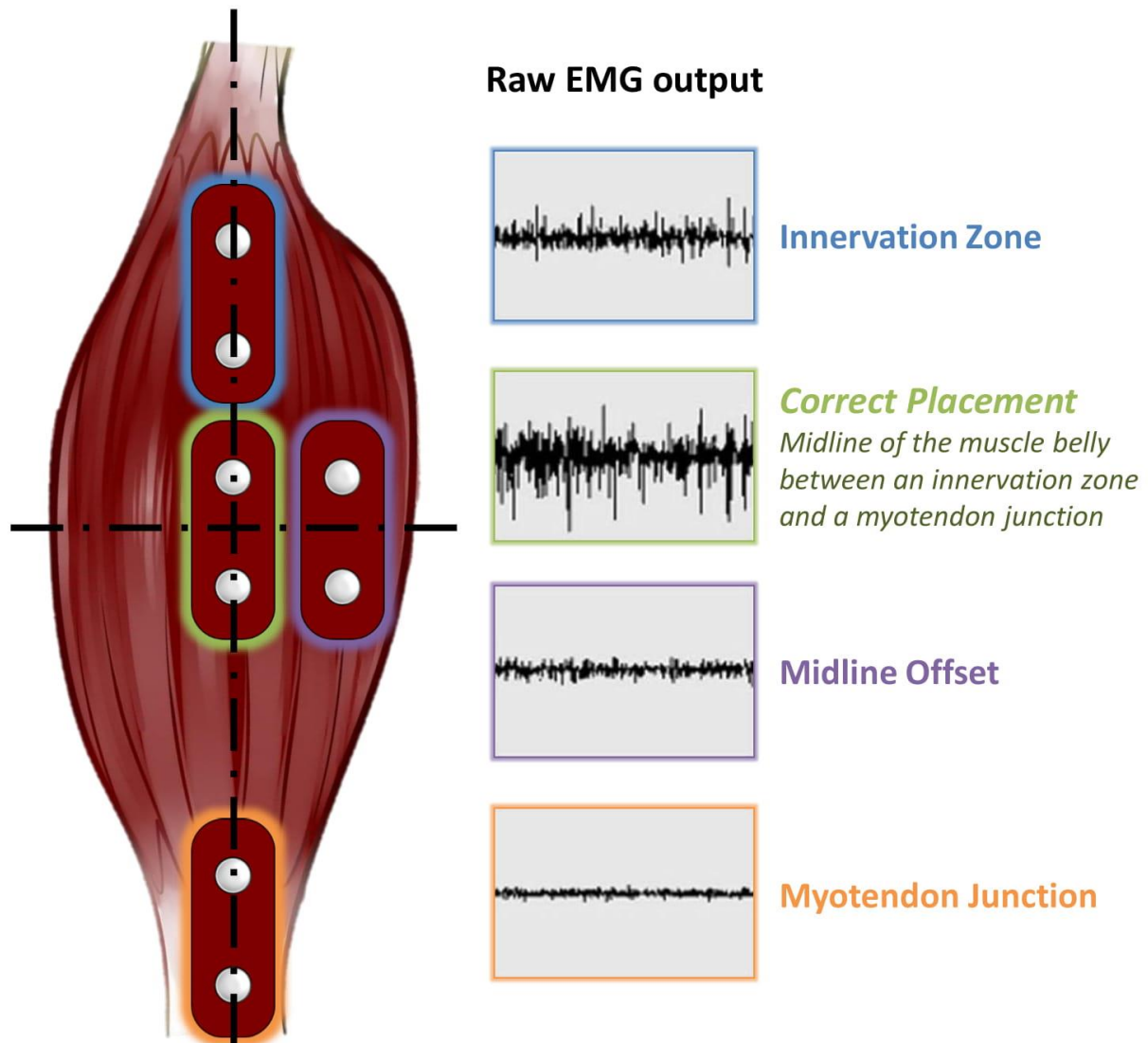
*Note: Not To Scale*

### Example Sensor Location for Bicep

- 1) Thoroughly clean the intended area with soap to remove dirt and oil
- 2) Snap electrodes to the sensor's snap connectors  
*(Note: While you can snap the sensor to the electrodes after they've been placed on the muscle, we do not recommend doing so due to the possibility of excessive force being applied and bruising the skin.)*
- 3) Place the sensor on the desired muscle
  - a. After determining which muscle group you want to target (e.g. bicep, forearm, calf), clean the skin thoroughly
  - b. Place the sensor so one of the connected electrodes is in the middle of the muscle body. The other electrode should line up in the direction of the muscle length
  - c. Peel off the backs of the electrodes to expose the adhesive and apply them to the skin
  - d. Place the reference electrode on a bony or nonadjacent muscular part of your body near the targeted muscle
- 4) Connect to a development board (e.g. Arduino, RaspberryPi), microcontroller, or ADC
  - a. See configurations previously shown



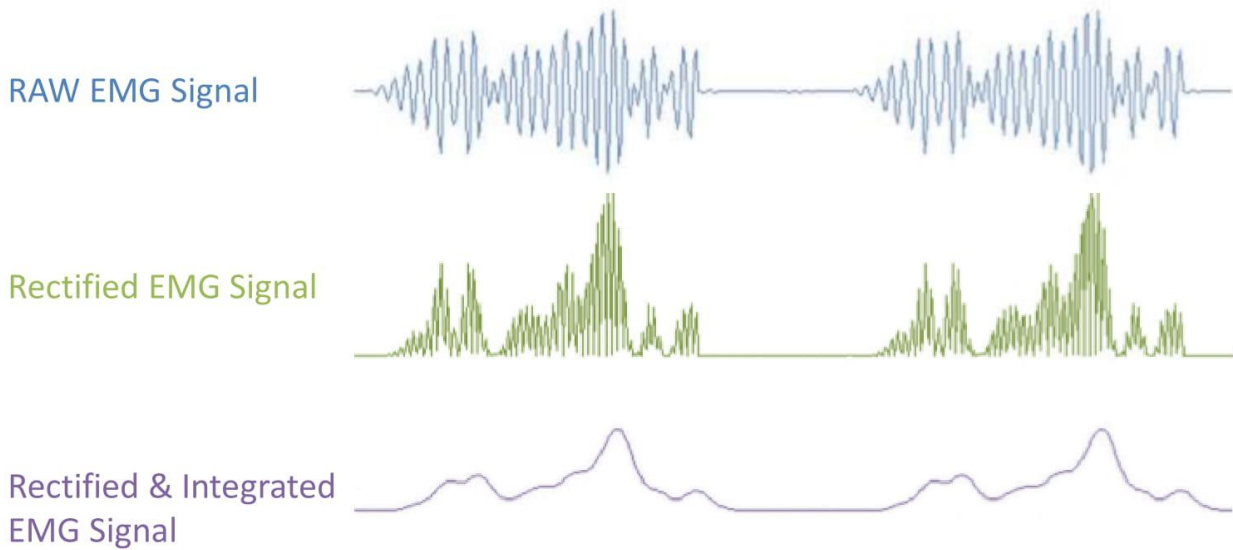
## Why is electrode placement important?



Position and orientation of the muscle sensor electrodes has a vast effect on the strength of the signal. The electrodes should be placed in the middle of the muscle body and should be aligned with the orientation of the muscle fibers. Placing the sensor in other locations will reduce the strength and quality of the sensor's signal due to a reduction of the number of motor units measured and interference attributed to crosstalk.

### RAW EMG vs EMG Envelope

Our Muscle Sensors are designed to be used directly with a microcontroller. Therefore, our sensors primary output is not a RAW EMG signal but rather an amplified, rectified, and integrated signal (AKA the EMG’s envelope) that will work well with a microcontroller’s analog-to-digital converter (ADC). This difference is illustrated below using a representative EMG signal. *Note: Actual sensor output not shown.*

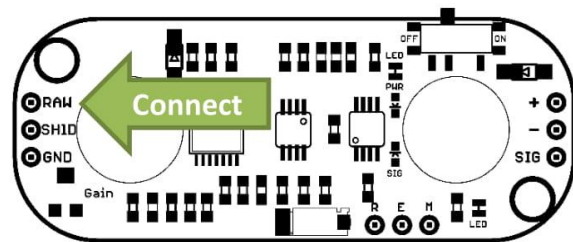


### Reconfigure for Raw EMG Output

**This new version has the ability to output an amplified raw EMG signal.**

To output the raw EMG signal, simply connect the raw EMG signal pin to your measuring device instead of the SIG pin.

*Note: This output is centered about an offset voltage of  $+V_s/2$ , see above. It is important to ensure  $+V_s$  is the max voltage of the MCU’s analog to digital converter. This will assure that you completely see both positive and negative portions of the waveform.*



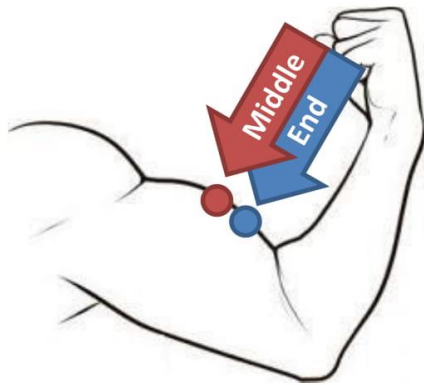
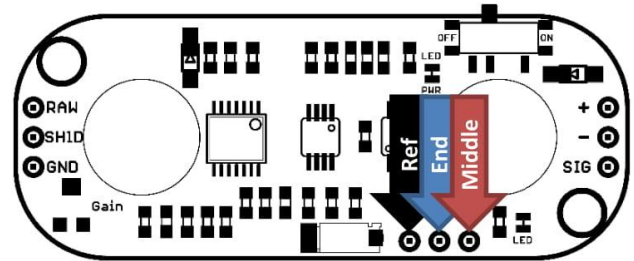
EMAIL: [support@advancer.co](mailto:support@advancer.co)



[www.AdvancerTechnologies.com](http://www.AdvancerTechnologies.com)

## Connecting external electrode cables

This new version has embedded electrode snaps right on the sensor board itself, replacing the need for a cable. However, if the on board snaps do not fit a user's specific application, an external cable can be connected to the board through three through hole pads shown above.



### Middle

Connect this pad to the cable leading to an electrode placed in the middle of the muscle body.

### End

Connect this to the cable leading to an electrode placed adjacent to the middle electrode towards the end of the muscle body.

### Ref

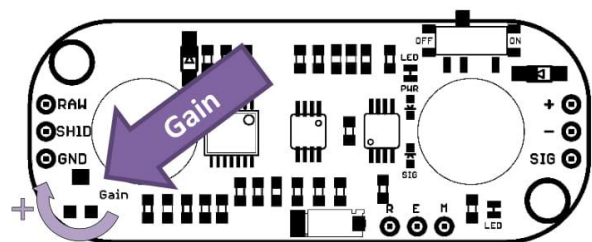
Connect this to the reference electrode. The reference electrode should be placed on a separate section of the body, such as the bony portion of the elbow or a nonadjacent muscle

## Adjusting the gain

We recommend for users to get their sensor setup working reliably prior to adjusting the gain. The default gain setting should be appropriate for most applications.

To adjust the gain, locate the gain potentiometer in the lower left corner of the sensor (marked as "GAIN"). Using a Phillips screwdriver, turn the potentiometer counterclockwise to increase the output gain; turn the potentiometer clockwise to reduce the gain.

*Note: In order to reduce the required voltage for the sensor, the redesign switch out a JFET amplifier for a CMOS amplifier. However CMOS amplifiers tend to have slower recovery times when saturated. Therefore, we advise users to adjust the gain such that the output signal will not saturate the amplifier.*



EMAIL: [support@advancer.co](mailto:support@advancer.co)

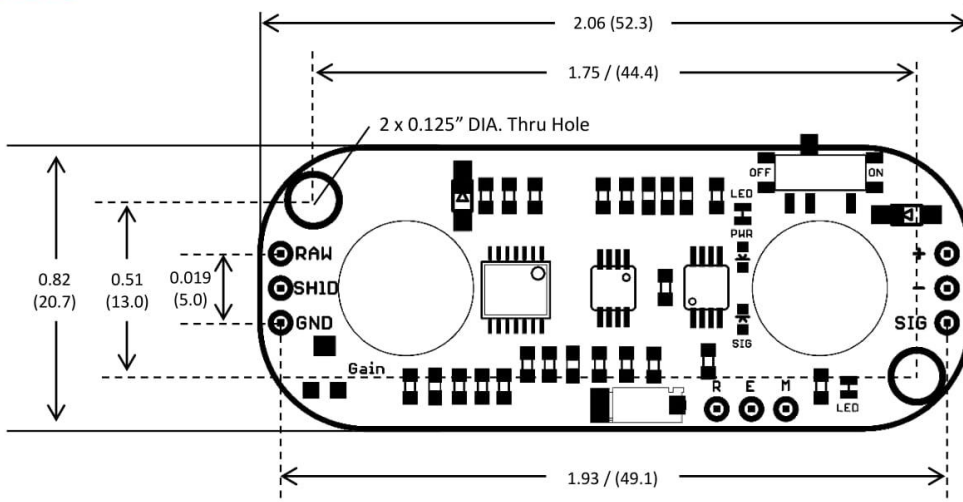
**Advancer<sup>™</sup>  
Technologies** 

[www.AdvancerTechnologies.com](http://www.AdvancerTechnologies.com)

## Electrical Specifications

Parameter	Min	TYP	Max
Supply Voltage	+2.9V	+3.3V or +5V	+5.7V
Adjustable Gain Potentiometer	0.01 $\Omega$	50 k $\Omega$	100 k $\Omega$
Output Signal Voltage			
EMG Envelope	0V	--	+Vs
Raw EMG (centered about +Vs/2)	0V	--	+Vs
Input Impedance	--	110 G $\Omega$	--
Supply Current	--	9 mA	14 mA
Common Mode Rejection Ratio (CMRR)	--	110	--
Input Bias	--	1 pA	--

## Dimensions



EMAIL: [support@advancer.co](mailto:support@advancer.co)



[www.AdvancerTechnologies.com](http://www.AdvancerTechnologies.com)



## 9.2 Instrucciones

**Paso 1:** Vincule el teléfono con el Arduino mediante bluetooth usando la contraseña 1234

**Paso 2:** Coloque el sensor en el musculo en la mandíbula a la altura del musculo masetero posición superficial y los electrodos en las cervicales y musculo masetero.

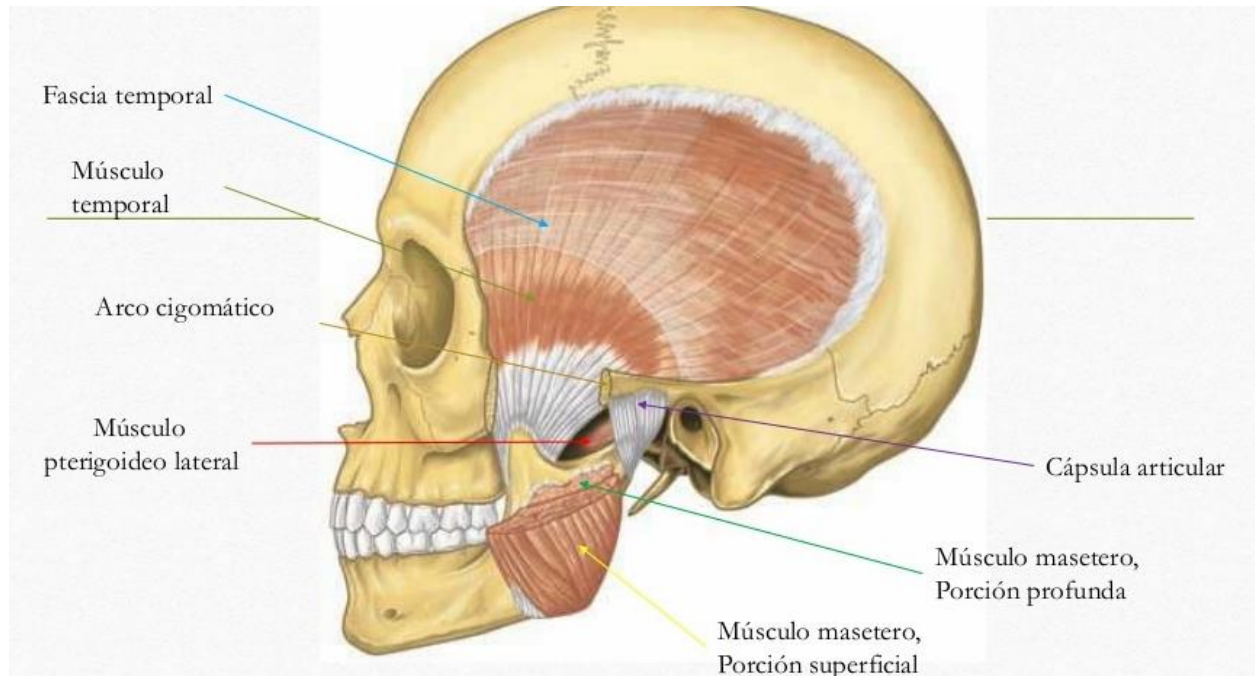


Figura 9-1 Esquema músculos de la mandíbula

**Paso 3:** Inicie la conexión desde la App y elija la opción de uso que desee. Explicadas en el apartado 6.3 Conectividad.

### 9.3 Fallos

- **Fallo 1:** Los electrodos requieren de un mantenimiento para asegurar su tiempo de uso, para ello aplicar un gel para el mantenimiento de ellos.
- **Fallo 2:** En el caso que el electroestimulador no aplique el tratamiento con la suficiente energía, cambien la pila.
- **Fallo 3:** El relé tiene una expectativa de vida de 100000 accionamientos. En el caso que deje de funcionar sustituir.
- **Fallo 4:** Si la App no conecta con el Arduino, compruebe que antes tiene vinculado el teléfono con el módulo HC-05.



## REFERENCIAS

1. *Bruxismo, Teoría y Clínica*. Filloy, Dr. Fernando Baldioceda. 2, 2010, Revista oficial del colegio de cirujanos dentistas de Costa Rica, Vol. 6.
2. *Avances en Odontoestomatología*. Frugone Zambra RE., Rodríguez C. 3, 2003, Vol. 19.
3. Clínica Dental Plaza Aluche. [En línea] [Citado el: 17 de Enero de 2019.] <https://clinicadentalplazaaluche.com/bruxismo-clasificacion-por-gradoss/>.
4. Clínica Propdental. [En línea] [Citado el: 2019 de Enero de 17.] <https://www.propdental.es/bruxismo/clasificacion/>.
5. Galicer Sánchez, Maurico. **SIMULACIÓN DEL BRUXISMO Y SU EFECTO EN LA ESTRUCTURA ÓSEA DE LA MANDÍBULA**. Sevilla : s.n.
6. Cuenca, Patricia Cornejo. Diseño de un dispositivo para la detección de bruxismo mediante biofeedback. Sevilla : s.n.
7. *Actualización en la epidemiología y tratamiento multidisciplinar del Bruxismo: nuevos materiales*. Estrada, Dr. Marcos Moradas. s.l. : Revista europea de odontoestomatología, 2018.
8. *Bruxismo: Más allá de los dientes*. Diana Denisse Garrigós Portales, Alejandra Paz Garza, José L Castellanos. 2, s.l. : ADM, 2015, Vol. 72.
9. Raquel Calderón, Odontóloga. Web consultas, Revista de salud y bienestar. [En línea] [Citado el: 21 de Enero de 2019.] [www.webconsultas.com/salud-al-dia/bruxismo/tratamiento-del-bruxismo](http://www.webconsultas.com/salud-al-dia/bruxismo/tratamiento-del-bruxismo).
10. [En línea] [Citado el: 22 de Enero de 2019.] <https://www.cerezen.eu/about-cerezen/>.
11. bti-biotechnologyinstitute. [En línea] [Citado el: 30 de Enero de 2019.] <http://bti-biotechnologyinstitute.com/es/dental/apnea-del-sueno/>.
12. [En línea] [Citado el: 2 de Febrero de 2019.] <https://www.eitb.eus/es/noticias/sociedad/videos/detalle/2720444/bideoa-los-dentistas-podran-diagnosticar-apnea-sueno/>.
13. Romero-García, A., Torres Hortelano, J.M. y Correa, L. *bruzismo en el sueño. Aactualización sobre mecanismos etiopatogénicos, diagnóstico y tratamiento*
14. [En línea] <https://www.instructables.com/id/Rehabilitador-Muscular-con-energ%C3%ADa-Sustentable-de-/>.
15. Aguar, Mario Montagud. **DISEÑO DE UN SISTEMA DE REHABILITACIÓN ACTIVA CON ESTIMULACIÓN ELÉCTRICA**. 2017.
16. *Analgesia eléctrica con Tens, Manual de formación*. s.l. : Sales & Service S.L.
17. [En línea] [Citado el: 1 de Febrero de 2019.] <https://www.electronicoscaldas.com/modulos-rf/452-modulo-bluetooth-hc-05.html>.
18. Amazon. [En línea] [Citado el: 1 de Febrero de 2019.] <https://www.amazon.es/Correa-antironquidos-para-mand%C3%ADbula-%C2%A1Calificado/dp/B079FZVGVC>.
19. **UNE-EN 60601-1-2:2008**. española, Normalización.











