

Proyecto Fin de Carrera

Ingeniería de Telecomunicación

Diseño de un dispositivo para la detección de bruxismo mediante biofeedback

Autor: Patricia Cornejo Cuenca

Tutor: María del Mar Elena Pérez

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

Sevilla, 2015



Proyecto Fin de Carrera
Ingeniería de Telecomunicación

Diseño de un dispositivo para la detección de bruxismo mediante biofeedback

Autor:
Patricia Cornejo Cuenca

Tutor:
María del Mar Elena Pérez
Profesora Contratada Doctora

Dep. Ingeniería Electrónica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2015

Proyecto Fin de Carrera: Diseño de un dispositivo para la detección de bruxismo mediante biofeedback

Autor: Patricia Cornejo Cuenca

Tutor: María del Mar Elena Pérez

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

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla,

2015

El Secretario del Tribunal

A mis padres,

Agradecimientos

Mis primeros agradecimientos son para mis padres, Rafa y Sensi, gracias por su constante apoyo en todas mis decisiones, gracias por brindarme una educación, cosa por la que habéis apostado siempre y habéis antepuesto a cualquier necesidad, gracias por enseñarme el valor del trabajo duro para darnos a mi hermano y a mí lo mejor, gracias por su enorme esfuerzo, con el cual tengo la oportunidad de poder presentar este escrito, gracias por ser unos padres ejemplares y gracias por darme la VIDA. A mi hermano, Rafalin, por la cantidad de veces que se ha quedado sin ver la televisión para que yo estudie y por ser un niño maravilloso, estoy segura de que la vida te depara cosas fabulosas.

En segundo lugar a mi tutora, Mar, por sus consejos y ánimos durante el desarrollo del proyecto, incluso en los momentos más oscuros.

A mi compañera, amiga y hermana de distintos padres, Miriam, gracias por toda una vida juntas, por las risas, por los llantos, por las llamadas a mi puerta para despertarme, por los buenos y malos momentos, pero sobre todo, por su amistad incondicional. A mi amigo y compañero Rafa, gracias por aparecer para que pudiéramos formar la pandilla de los guays, por las conversaciones de besugos, porque como tú dices, esta carrera es tan mía como vuestra, y viceversa. Gracias a los dos porque vuestra amistad y compañerismo han hecho que todo esto valga la pena.

Gracias a las apariciones estelares, Ramoni, Jose y Alex, porque mejor tarde que nunca, porque gracias a vosotros nos convertimos en un grupo de verdad, por tantos momentos de risas juntos, por hacer que ir a clase sea un placer, gracias por enseñarme a adorar los exámenes tipo test, gracias por hacer que un lunes de pescaíto hasta las 9 de la noche en el laboratorio no sea tan malo, y por hacer que cualquier momento, ya sea un café, un colacao, un cerveza-tequila, una salida, o un viaje, sea algo inolvidable.

Gracias también a toda mi familia, los que están y los que no están, por sus ánimos, por su interés, por su apoyo, por alegrarse cuando me va bien, incluso por encender velas cuando tengo un examen crítico. No puedo mencionar a todos porque tengo la enorme suerte de tener una familia muy grande, pero mil gracias a todos.

A mis amigas de toda la vida, Virginia, Ester, María, Celia, Belén y Viky, y a las de no toda la vida pero como si lo fueran, mi Maru. Porque no todo va a ser estudiar... Porque aunque pasen meses sin vernos, faltan dos segundos para que parezca que el tiempo no ha pasado. Gracias por vuestro apoyo y por vuestra amistad, sois muy especiales para mí.

Y a todos los que en algún momento habéis formado parte de esto, me habéis animado y os habéis alegrado por mí. A todos, GRACIAS, GRACIAS y GRACIAS.

Patricia Cornejo Cuenca

Autora del proyecto

Sevilla, 2015

Resumen

Este proyecto trata sobre el diseño de un dispositivo para la detección, el diagnóstico y el tratamiento del bruxismo.

Se realizará un estudio inicial de la enfermedad y de las características técnicas de los dispositivos existentes en la actualidad, y se aplicarán los conocimientos adquiridos para diseñar un dispositivo mejorado, fácil de usar, compacto y eficaz.

Abstract

This project is about the design of a device for the detection, diagnosis and treatment of bruxism.

Our aim is making an initial study of the disease and all the techniques features of currently existing devices, and applying the knowledge gained to design an improved device, easy to use, compact and efficient.

Índice

Agradecimientos

Resumen

Abstract

Índice

Índice de Tablas

Índice de Figuras

Notación

1	Antecedentes	1
2	Introducción	3
2.1.	Conceptos básicos	3
2.2.	Objetivos y alcance del proyecto.....	4
2.3.	Estructura del escrito.....	5
2.4.	Medios y herramientas de trabajo	6
3	Bruxismo: introducción y descripción de la patología.....	7
3.1.	Definición de la enfermedad.....	7
3.2.	Prevalencia.....	7
3.3.	Tipos de bruxismo	8
3.3.1	Según el momento de su presentación	8
3.3.2	Según la dirección del movimiento de la mandíbula	8
3.3.3	Según el grado de afectación	8
3.3.4	Según las causas fundamentales que contribuyen a su desarrollo.....	9
3.4.	Síntomas.....	9
3.5.	Etiología.....	9
3.5.1	Factores psicológicos.....	10
3.5.2	Factores morfológicos	10
3.5.3	Factores neurológicos: problemas del sistema nervioso central.....	10
3.5.4	Factores genéticos.....	10
3.5.5	Factores sistémicos	11
3.5.6	Factores de trastorno del sueño.....	11
3.5.7	Factores de disfunción de la columna vertebral.....	11
3.5.8	Factores fisiopatológicos.....	11
3.6.	Diagnóstico	11
3.6.1	Diagnóstico sintomático	11
3.6.2	Herramientas de medición: polisomnografía y dispositivos diagnósticos	12
3.6.3	Diagnóstico diferencial.....	13
3.7.	Tratamiento.....	13
3.7.1	Tratamiento médico.....	14
3.7.1.1	Tratamiento odontológico	14

3.7.1.2	Tratamiento psicológico.....	14
3.7.2	Tratamiento farmacológico.....	15
3.7.3	Tratamiento conductual	15
3.7.4	Tratamiento físico.....	15
3.7.	Conclusiones médicas.....	16
4	Estado del arte	17
4.1.	Dispositivos comerciales	17
4.1.1	De uso diagnóstico	17
4.1.1.1	BiteStrip ®.....	17
4.1.1.1.1	Descripción	17
4.1.1.1.2	Utilización.....	18
4.1.1.1.3	Interpretación del visor	18
4.1.1.1.4	Avisos y precauciones.....	19
4.1.2	De uso diagnóstico y terapéutico.....	19
4.1.2.1	BruxStop ®.....	19
4.1.2.2	Grind Alert ® o SleepGuard ®	20
4.1.2.3	GrindCare ®	21
4.1.2.4	Cycura – Oral Sensor ®.....	21
4.1.3	Comparativa de los dispositivos.....	22
4.2.	Patentes	23
4.2.1.	US6270466 B1. Aparato de biofeedback para el bruxismo y método que incluye un transductor acústico acoplado junto a los huesos de la cabeza.	23
4.2.2.	US6164278 A. Diseño de un dispositivo para la prevención del apretamiento de dientes y mordida.	25
4.2.3.	EP1110518 A1. Dispositivo para prevenir el bruxismo.....	25
4.2.4.	US5078153 A. Método y aparato para la sensibilidad y el tratamiento del bruxismo.....	26
4.2.5.	Comparativa de las patentes.....	26
4.3.	Aplicaciones.....	27
4.3.1	Stop Bruxism ®.....	27
4.3.2	Teeth grinding ®	28
4.3.3	BruxOff ®.....	28
4.3.4	Otras aplicaciones.....	29
4.3.4.1	EMG Biofeedback.....	29
4.3.4.2	Runtastic Sleep Better ®.....	29
4.3.4.3	Sleep Monitor ®.....	30
4.3.4.4	Night Recoder ®	30
4.4.	Conclusiones	30
5	Propuestas de diseño del dispositivo.....	32
5.1	Especificaciones del dispositivo.....	32
5.1.1	Especificaciones médicas	32
5.1.2	Especificaciones técnicas.....	32
5.1.3	Especificaciones de uso	33
5.2.	Planteamiento del diseño general.....	33
5.2.1.	Caso de uso 1: Diagnóstico	33
5.2.2.	Caso de uso 2: Tratamiento.....	37
5.2.3.	Caso de uso 3: Calibración.....	38
5.2.4.	Caso de uso 4: Volcado de datos	41
5.2.5.	Esquema general	42
5.3.	Especificación de las alternativas	42
5.3.1	Diseño del diagrama de bloques del dispositivo	43
5.3.1.1	Introducción: bloques principales	43
5.3.1.2	Tipos de ruido.....	43
5.3.2	Modelos del diagrama.....	44
5.3.2.1	Modelo 1: Con sensor S-EMG	44
5.3.2.2	Modelo 2: Sin sensor S-EMG	45

5.3.2.3	Comparativa de los dos modelos	48
5.3.3	Alternativas a cada componente	48
5.3.3.1	Electrodos.....	48
5.3.3.2	Sensores EMG	50
5.3.3.3	Pre-amplificador	51
5.3.3.4	Filtrado LP y HP	51
5.3.3.5	Rectificador.....	52
5.3.3.6	Filtro Rechazo a 60Hz.....	52
5.3.3.7	Amplificador y CAD.....	52
5.3.3.8	Microcontrolador	53
5.3.3.9	Estímulo	55
5.3.3.10	Alimentación.....	56
5.3.3.11	Conectividad (Wireless).....	56
5.3.3.12	Memoria externa.....	58
5.4.	Conclusiones del diseño.....	59
6	Elección de la solución y posibles pruebas	61
6.1.	Elección de la solución	61
6.1.1	AFE.....	62
6.1.2	Microcontrolador	62
6.1.3	Otras elecciones de hardware.....	62
6.1.4	Esquema de diseño	63
6.2.	Pruebas.....	64
6.2.1.	Pruebas iniciales	64
6.2.2.	Calibración.....	64
6.2.3.	Diagnóstico.....	65
6.2.4.	Tratamiento.....	65
6.2.5.	Volcado de datos	65
6.2.6.	Efectividad.....	65
7	Planificación temporal y Presupuesto	67
7.1.	Planificación temporal	67
7.1.1	Tareas a realizar	67
7.1.2	Diagramas de Gantt	70
7.1.3	Conclusiones	73
7.2.	Presupuesto	73
8	Conclusiones y futuro desarrollo.....	77
9	Anexos.....	79
	Anexo I: Electromiograma.....	79
	Anexo II: Datasheet de los sensores.....	80
	Anexo II.1. Sensor 1: Muscle Sensor v3.....	80
	Anexo II.2. Sensor 2:.....	84
	Anexo III. Marcado CE.....	91
	Anexo IV. Textiles Inteligentes.....	93
	Bibliografía	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.2. Comparativa de patentes.	27
Tabla 5.1. Comparativa de modelos para el diagrama de bloques.	48
Tabla 5.2. Comparativa de pre-amplificador de instrumentación.	51
Tabla 5.3. Comparativa microcontroladores Arduino.	54
Tabla 5.4. Voltaje de cada componente.	56
Tabla 5.5. Comparativa Zigbee y Bluetooth.	57
Tabla 5.6. Tipos de memoria.	58
Tabla 7.1. Fase 1 Planificación temporal.	68
Tabla 7.2. Fase 2 Planificación temporal.	70
Tabla 7.3. Presupuesto.	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1. BiteStrip®	17
Figura 4.2. Uso del BiteStrip®	18
Figura 4.3. Interpretación de BiteStrip®	18
Figura 4.4. BruxStop ®	19
Figura 4.5. GrindAlert ®	20
Figura 4.6. SleepGuard ®	20
Figura 4.7. GrindCare ® y su uso.	21
Figura 4.8. Cycura Oral-Sensor ®.	22
Figura 4.9. Banda para la cabeza y diagrama muscular.	24
Figura 4.10. Alternativas headband.	24
Figura 4.11. Férula terapéutica con líquido.	25
Figura 4.12. Férula con descarga eléctrica	26
Figura 4.13. Esquemático de la férula que emite ondas radio.	26
Figura 4.14. BruxOff Kit.	28
Figura 4.15. EMG Biofeedback app.	29
Figura 5.1. Diagrama de flujo del diagnóstico de bruxismo.	36
Figura 5.2. Diagrama de flujo del tratamiento de bruxismo.	38
Figura 5.3. Diagrama de flujo calibración.	40
Figura 5.4. Esquema general del dispositivo y detalle.	42
Figura 5.5. Diagrama de bloques general.	43
Figura 5.6. Diagrama de bloques del modelo 1 (con sensor S-EMG).	44
Figura 5.7. Diagrama de bloques del modelo 2 (sin sensor S-EMG).	46
Figura 5.8. Señales de salida de algunos bloques.	47
Figura 5.9. Electrodo desechables.	49
Figura 5.10. Electrodo en barra reutilizable.	49
Figura 5.11. Electrodo reutilizable en disco.	49
Figura 5.12. Electrodo reutilizable en disco con pin.	50
Figura 5.13. Electrodo de tierra reutilizable cuadrado.	50
Figura 5.14. Electrodo de tierra reutilizable circular.	50
Figura 5.15. Sensores S-EMG.	51
Figura 5.16. Filtro Notch.	52
Figura 5.17. Microcontrolador Arduino Micro.	54

Figura 5.18. Microcontrolador Arduino Mini 05	54
Figura 5.19. Microcontrolador Arduino Pro Mini.	55
Figura 5.20. Vibrador.	56
Figura 5.21. Bluetooth LMX9838.	58
Figura 6.1. Modelo elegido finalmente.	61
Figura 6.2. Detalle del diseño del dispositivo. Arriba: parte exterior. Abajo: Parte interior.	63
Figura 6.3. Detalle del dispositivo en el interior.	64
Figura 7.1. Tareas y subtareas para el diagrama de Gantt de la fase 1.	71
Figura 7.2. Diagrama de Gantt Fase 1 – Dos primeras tareas.	71
Figura 7.3. Diagrama de Gantt Fase 1 – Cuatro últimas tareas.	72
Figura 7.4. Tareas y subtareas para el diagrama de Gantt de la fase 2.	72
Figura 7.5. Diagrama de Gantt Fase 2.	72
Figura 7.6. Planificación del tiempo.	73
Figura 7.7. Gráfica de presupuesto.	74

NOTACIÓN

ATM	Articulación Temporomandibular
SNC	Sistema Nervioso Central
EEG	Electroencefalograma
EMG	Electromiografía
ECG	Electrocardiograma
S-EMG	Electromiografía de superficie
ARMM	Actividad rítmica muscular masticatoria
PSG	Polisomnografía
TENS	Transcutaneous electrical nerve simulation (Método de estimulación eléctrica transcutánea)
FDA	Food and drug administration (Administración de alimentos y medicamentos americana)
WPAN	Wireless Personal Area Network
AFE	Analog Front End
μ C	Microcontrolador
AEM	Agencia Española del Medicamento

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 gracias a la apreciación de la gran cantidad de personas que padecen la enfermedad del bruxismo, que es una patología consistente en el hábito de rechinar o apretar los dientes. Varios estudios mencionados más adelante estiman que el porcentaje de personas que lo padecen varía del 10 al 20%, pero la gran mayoría de las personas ha sufrido episodios bruxistas al menos una vez en la vida.

El bruxismo es una enfermedad con un diagnóstico realizado por un odontólogo, pero cuyo tratamiento se puede y debe llevar a cabo tanto por odontólogos como por psicólogos. Esto es debido a que las causas, que se estudiarán más adelante, son, entre otras, por un desorden en el sistema nervioso central.

No es un trastorno peligroso, sin embargo, puede causar lesiones dentales permanentes, dolor molesto en la mandíbula, dolores de cabeza o dolor de oído. Por esta razón, es conveniente que al paciente se le realice un diagnóstico temprano.

Muchos son los dispositivos existentes que realizan la función del diagnóstico. Existe una amplia gama de dispositivos de este tipo: para utilizar por el propio paciente en casa, para utilizar por el médico en la consulta, etc. Sin embargo, son menos los dispositivos electrónicos que realizan esta función en conjunto con la función de tratamiento. Sí que es verdad que está muy implantado el uso de férulas para llevar a cabo ambas funciones, ya que es un mecanismo de fácil construcción y de sencillo uso por parte del paciente. Se muestran muchos de estos dispositivos en el apartado del Estado del Arte.

Con este proyecto se pretende realizar el diseño de un dispositivo para la detección y tratamiento del bruxismo, ya que se ha detectado la falta de un único aparato que realice ambas funciones.

El objetivo deseado del dispositivo a diseñar es crear una forma nueva e innovadora de diagnosticar y tratar esta enfermedad, que tenga un mecanismo sencillo para que el paciente pueda usarlo en casa, pero siempre con la supervisión de su médico.

2 INTRODUCCIÓN

La idea del proyecto y una introducción de por qué surge se ha desarrollado en el apartado anterior. En este capítulo veremos una introducción al proyecto en sí:

- Conceptos básicos que van a aparecer.
- Objetivos y alcance del proyecto.
- Partes en las que se ha dividido.
- Medios y herramientas de trabajo.

2.1. Conceptos básicos

El título del Proyecto es *Diseño de un dispositivo para la detección del bruxismo mediante biofeedback*. Hay varios términos que deberíamos definir antes de comenzar.

- El término *Diseño* se refiere a una actividad que tiene como objetivo proyectar objetos que sean útiles y estéticos. Se refiere a la realización de bocetos, esquemas, definiciones o diagramas que se realizan, ya sea mentalmente o en un soporte material, antes de concretar la producción de algo. Al diseñar, una persona no sólo debe tener en cuenta los aspectos estéticos, sino también cuestiones funcionales y técnicas. Esto exige a los diseñadores estudios, tareas de investigación y de modelado que le permitan encontrar la mejor manera de desarrollar el objeto que pretenden crear.
- Para *Dispositivo*, en particular *dispositivo médico*, utilizaremos la definición aportada por la Directiva del Consejo 93/42/EEC de 14 de junio de 1993. “Cualquier instrumento, aparato, aplicación, mental o artículo, usado aisladamente o en combinación con otros, que incluye el software necesario para su actuación, destinado por el fabricante para su uso en humanos con los siguientes propósitos:
 - Diagnóstico, prevención, registro, tratamiento o alivio de infecciones.
 - Diagnóstico, registro, tratamiento, alivio o compensación por una herida, lesión o discapacidad.
 - Investigación, sustitución o modificación de la anatomía de un proceso fisiológico.
 - Control de la natalidad, cuando no se consigue principalmente mediante procedimientos farmacológicos, inmunológicos o metabólicos, pero puede ser asistido en su función por estos procedimientos”.
- Por *Detección* entendemos la puesta de manifiesto mediante aparatos o por métodos físicos o químicos lo que no puede ser observado directamente. En este caso, es una función que pretendemos que realice nuestro objetivo: la detección de la enfermedad. Gracias a esta detección se podrá realizar un tratamiento adecuado.
- El término clave sin duda del título de nuestro proyecto es el de *Biofeedback* o *biorretroalimentación*. El objetivo del biofeedback es aprender a controlar el cuerpo para mejorar la salud, tanto física como mental. Normalmente, utiliza instrumentos que miden la actividad fisiológica como ondas cerebrales, función cardíaca, espiración, actividad muscular o temperatura de la piel. Mediante estos instrumentos se comunica con algún sistema electrónico, estos informan al individuo del comportamiento que está teniendo su cuerpo y, de esta forma, se podría ser capaz de modificar alguna reacción. Se conoce como biofeedback ya que se realiza una *retroalimentación en tiempo real* de la información recibida, que permite manejar estas variables y así controlar ciertos problemas.

Cabe mencionar que el biofeedback puede realizarse sin necesidad de usar ningún instrumento, de esta forma, el individuo sería consciente de su propio comportamiento, y reaccionaría

modificándolo.

Tenemos diferentes modalidades dentro del biofeedback, dependiendo de la parte del cuerpo donde se realice la medida. Además de los aquí mencionados, existen muchísimos más

- Neurofeedback: Modalidad que cada día está más expandida. Es una parte muy específica del biofeedback que se centra en la actividad eléctrica del cerebro, y que por lo tanto, enseña a controlar las ondas cerebrales para ajustar el estado mental.
- Electromiograma (EMG): Usa electrodos superficiales para detectar contracciones en los músculos. Es el que principalmente vamos a utilizar para nuestro dispositivo. Se define específicamente en el Anexo I.
- Termómetro feedback: Detecta la temperatura de la piel con un termistor (resistencia sensible a temperatura) que normalmente se pone en un dedo de la mano o del pie.
- Electrodermograma (EDG): Mide la actividad eléctrica de la piel directamente usando electrodos.
- Electroencefalograma (EEG): Mide la activación eléctrica del cerebro.

2.2. Objetivos y alcance del proyecto

El objetivo principal del proyecto, como se ha repetido varias veces anteriormente, el diseño de un dispositivo que sea capaz de diagnosticar y tratar el bruxismo. Para el tratamiento se utilizará algún estímulo que haga que cuando el paciente esté sufriendo un episodio bruxista, este se detenga gracias a la aplicación del estímulo. Se pretenderá que el estímulo sea agradable por el paciente.

Se realizará un estudio a fondo para realizar un diagrama de bloques del dispositivo, de forma que realice la función deseada.

Se propone también la creación de una aplicación móvil para guardar los datos extraídos durante cada sesión de uso, y que el paciente pueda verlos de una forma fácil y sencilla.

Se conoce que pertenecen al alcance del dispositivo las siguientes tareas y funciones:

- Estudio de la enfermedad para conseguir un dispositivo más fiable basado en la información recogida.
- Investigación de los avances tecnológicos en cuanto a dispositivos, patentes y aplicaciones por la misma razón que la anterior.
- Diseño físico del dispositivo, con esto nos referimos al exterior, a la carcasa.
- Diseño del hardware del dispositivo. Establecer todos los componentes que debe tener en su interior, y realizar un estudio para ver cuál tiene unas mejores prestaciones. Se realizará un diagrama de bloques para ordenarlos.
- Establecimiento de los casos de uso del dispositivo.
- Diseño del software de los casos de uso. Se realizarán diagramas de flujo para cada uno de los casos de uso del dispositivo. No es alcance del proyecto realizar la programación de ellos, ya que depende de la tecnología a explícita a utilizar, y esto sería objetivo de la construcción del dispositivo.
- Establecer las especificaciones del dispositivo.
- Especificar las alternativas de las que disponemos para cada uno de los componentes hardware.
- Elegir solamente una de entre las alternativas que se planteen.
- Proponer una batería de pruebas iniciales a realizar cuando el dispositivo sea construido. No está dentro del alcance realizar las pruebas, ya que no disponemos del dispositivo físicamente para poder llevarlas a cabo, es por eso por lo que se realiza la propuesta de algunas de ellas.
- Establecer una planificación temporal del proyecto que se muestra en este escrito, y otra planificación temporal de forma más general para la propuesta de construcción del dispositivo.

- Realizar un presupuesto detallado de lo que sería el proyecto total, incluyendo la construcción del dispositivo y los materiales para realizar solamente un prototipo.

No es alcance del proyecto, las siguientes tareas o funciones:

- Llevar a cabo la construcción del dispositivo.
- Definir la aplicación móvil ni programarla. Esta es simplemente una propuesta que debe desarrollarse en mayor medida en futuros proyectos.
- Programar el software de los distintos dispositivos, solamente indicar su funcionamiento.

2.3. Estructura del escrito

En este apartado se van a enumerar las diferentes partes en las que se divide el proyecto total.

- En primer lugar, se comenzará con un estudio a fondo de la enfermedad:
 - Definición.
 - Prevalencia.
 - Clasificación en distintos tipos.
 - Sintomatología.
 - Etiología.
 - Diagnóstico.
 - Tratamiento.
- A continuación, se realizará un estudio en el que se indique hasta dónde ha llegado la tecnología desarrollada para diagnosticar esta enfermedad. Se investigará y se buscará información acerca de:
 - Dispositivos existentes en el mercado (ya sean electrónicos o no).
 - Patentes que tratan sobre el tema. Algunas de ellas son en las que se han basado los dispositivos mencionados.
 - Aplicaciones. Este punto será solamente para tener una idea de lo que existe en cuando a aplicaciones móviles relacionado con el bruxismo, y nos servirá para tener una idea de las carencias en cuanto a este tema.
- Después, entraremos en el punto más importante del proyecto, en el que se proponen varias alternativas para el diseño de nuestro dispositivo. Este capítulo se dividirá básicamente en 3 partes igual de importantes cada una:
 - Detallado de las especificaciones que debe tener nuestro dispositivo.
 - Planteamiento del diseño general, en el que se mostrarán varias alternativas al diagrama de bloques del aparato.
 - Especificación de las diferentes alternativas de las que disponemos para cada uno de los componentes.
- En el siguiente punto se realizará la elección de la solución escogiendo los componentes del apartado anterior que consideremos más ventajosos para nuestro dispositivo. También se realizará una propuesta de pruebas a realizar finalmente con el dispositivo, pero no será hasta la construcción del mismo (lo que queda fuera del alcance del proyecto) cuando detectemos todas las pruebas posibles a realizar por éste.
- Casi para finalizar, se ilustrará la planificación temporal que ha intentado seguirse a lo largo de todo el proyecto, detallando las tareas y sub tareas realizadas, la duración de cada una de ellas y la fecha de inicio y fin. Se adjuntará un diagrama de Gantt para ello. También se adjuntará en este punto el presupuesto detallado del proyecto.

2.4. Medios y herramientas de trabajo

Este apartado será breve, ya que estamos ante un proyecto en el que básicamente necesitamos obtener mucha información. Para ello, se va a realizar una búsqueda por internet de todo lo necesario, contrastando la información y todo caso, se leerán artículos, patentes, libros y todo lo necesario para que la información que aparezca en este escrito sea fiable.

Se utilizarán herramientas de software, que se irán indicando en cada uno de los apartados en los que sea necesario su uso.

Para realizar la elección de los componentes a comprar, se propondrán solamente tiendas online para que todo el que quiera llevar a cabo la construcción del dispositivo a raíz de este escrito tenga la oportunidad, independientemente de su localización geográfica.

3 BRUXISMO: INTRODUCCIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA PATOLOGÍA

Antes de entrar en el desarrollo de cualquier dispositivo médico para el diagnóstico y/o tratamiento en relación con la patología que estamos estudiando, sería necesario una explicación de varios aspectos relacionados con el bruxismo que pueden resultar determinantes e interesantes a la hora de enfocar el proyecto. Los principales aspectos, entre otros, que se abordarán serán:

- Definición y tipos
- Etiología y sintomatología
- Diagnóstico y terapia

3.1. Definición de la enfermedad

El bruxismo o bruxomanía es una parafunción mandibular persistente que consiste en el apretamiento o el rechinar de las estructuras dentales.

Hay varios términos en esta definición que tendríamos que explicar para entender exactamente de qué estamos hablando:

- Carlsson y Magnusson en 1999 en su libro “Bruxism and other oral parafunctions” definen el término *parafunción* como una actividad de un sistema que no tiene propósitos funcionales, siendo un propósito funcional, por ejemplo, triturar alimentos.
- El término *apretamiento* en este ámbito se refiere a una fuerte opresión de los dientes superiores e inferiores.
- Finalmente, *rechinar* hace alusión al efecto de deslizar o frotar los dientes de atrás hacia adelante uno sobre el otro.

El bruxismo se trata de un hábito involuntario sin propósito funcional que con el tiempo ocasiona un desgaste en las piezas y que produce un leve ruido molesto. Su principal desencadenante se sitúa en el plano psicológico, pues se le atribuye a un exceso de estrés, aunque las repercusiones se extienden al plano de la odontología.

La tensión producida ocasiona problemas en los músculos, tejidos y otras estructuras que rodean la mandíbula, dolores de oído y de cabeza, lesiones en los dientes y trastornos en las articulaciones mandibulares. Todos estos síntomas usualmente se definen en un conjunto de problemas de la articulación temporomandibular “ATM”.

3.2. Prevalencia

El bruxismo es un trastorno que afecta a muchísimas personas. Tanto es así, que existen estudios que revelan que la mayoría de la población ha sufrido mínimo un episodio bruxista a lo largo de su vida, ya sea este de mayor o menor duración.

En cuanto a la epidemiología y prevalencia, mencionar que afecta tanto a niños como adultos y a ambos sexos por igual.

Se han encontrado los siguientes porcentajes, ofrecidos por el *Centro Odontológico de Trastorno Integral*:

- El porcentaje total de personas que sufren bruxismo se sitúa entre el 10% y el 20% de la población, aunque existen estudios recientes que lo colocan muy por encima de estos valores, como el publicado por el Hospital Ruber Dental de Madrid, en el que se afirma que más de un 70% de la población

adulto española padece esta afección.

- En niños y adolescentes varía del 14% al 20%.
- En jóvenes y adultos de hasta 30 años aproximadamente, el porcentaje se sitúa entre el 15% y el 28%.
- En adultos de hasta 60 años, el porcentaje desciende y se comprende entre el 6% y el 8%.
- Finalmente, para adultos mayores de 60 años, el porcentaje es muy pequeño y se sitúa en un valor del 3%.

Según estos datos, se puede observar que el mayor porcentaje de afectados se sitúa en la población que comprende desde niños hasta adultos de unos 30 años.

3.3. Tipos de bruxismo

Existen varias clasificaciones de bruxismo según ciertos factores que se explican a continuación.

3.3.1 Según el momento de su presentación

Debemos distinguir entre dos tipos, ya que hay importantes diferencias fisiológicas y psicológicas entre ellos:

- Bruxismo del sueño (antes llamado bruxismo nocturno). Ocurre durante el sueño. Generalmente, el paciente que sufre este tipo no es consciente del problema, y los datos proceden de los compañeros de cama o del dentista que observa la destrucción del esmalte y la dentina. Este tipo de bruxismo se refiere al rechinar inconsciente de los dientes caracterizado por patrones rítmicos de actividad electromiográfica de los maseteros y sonidos audibles que no suelen producir en estado consciente. Este bruxismo resulta más difícil de controlar al presentarse en un estado de inconsciencia.
- Bruxismo de vigilia (antes llamado bruxismo diurno). Ocurre durante la vigilia, generalmente asociado a periodos de estrés laboral. Se refiere al apretamiento consciente o inconsciente de los dientes y puede incluir parafunciones como mordisquear lápices, uñas, mejillas o los labios. Este tipo de bruxismo suele ser silencioso.

3.3.2 Según la dirección del movimiento de la mandíbula

También podremos dividirlo en dos grupos dependiendo de la forma de rechinar los dientes.

- Bruxismo céntrico o perpendicular (apretamiento). Los dientes superiores e inferiores ejercen presión los unos sobre los otros. Las piezas más comúnmente dañadas van a ser los premolares debido a su posición en la mandíbula. Se producirá un menor desgaste dentario y una mayor afectación muscular.
- Bruxismo excéntrico (frotamiento). Se produce un deslizamiento con rozamiento de las piezas dentales. Las piezas mayormente dañadas son los incisivos. Se produce mayor desgaste dentario que en el caso anterior, y menor afectación muscular.

3.3.3 Según el grado de afectación

- Grado I (hábito incipiente). La presentación no es agresiva, su reproducción es por un corto periodo de tiempo y a veces de manera ocasional. Puede ser inconsciente para el paciente, es reversible ya que aparece y se desvanece por sí solo. Puede estar condicionado a factores locales dentro de la boca, que al ser detectados y eliminados con rapidez permiten la prevención y eliminación del mismo. La ansiedad puede estar ausente en el paciente.
- Grado II (hábito establecido). En este grado la ansiedad ya se encuentra presente. Su presentación sigue siendo inconsciente para el paciente y podemos encontrar lesiones en las estructuras dentales. Se requerirá de un tratamiento integral para asegurar su eliminación. Este grado puede ser reversible si es tratado, de lo contrario, puede desarrollarse en un hábito de grado III.

- Grado III (hábito poderoso). La reproducción es constante y su presentación se encuentra fortalecida. Aparece de forma excesiva y es irreversible para el sujeto que las padece aun siendo consciente. Las lesiones en este caso son de una magnitud considerable y en algunos casos permanentes. Este hábito es de difícil manejo y los resultados del tratamiento son insatisfactorios, por lo que se requiere mayor atención y dedicación en el desarrollo de técnicas por parte del dentista que las implementa.

3.3.4 Según las causas fundamentales que contribuyen a su desarrollo

- Bruxismo esencial. Relacionado con el estrés unido a problemas estructurales de oclusión dentaria.
- Bruxismo secundario. Derivado de patologías irreversibles del sistema nervioso central, tanto en niños como en adultos.

3.4. Síntomas

Apretar los dientes puede ejercer presión sobre los músculos, tejidos y otras estructuras alrededor de la mandíbula. Esto puede derivar en problemas de la articulación temporomandibular y presentar los siguientes síntomas:

- Estrés y ansiedad.
- Ruidos articulares. Estos ruidos pueden llegar a ser bastante intensos y molestos para el compañero de cama.
- Dolor de oído. Debido a que las estructuras de la articulación temporomandibular están muy cerca del conducto auditivo externo y se puede percibir dolor en un lugar diferente a su fuente, lo cual es denominado dolor referido.
- Dolor de cabeza, frecuentemente parecido a las migrañas.
- Dolor o inflamación de la mandíbula.
- Desgaste acelerado y prematuro de los dientes.
- Pérdida del esmalte dental.
- Trastornos del sueño.
- Excesiva sensibilidad dental al cepillado o a los alimentos calientes o fríos, lo que se conoce como hiperestesia dental. Debido a que la pérdida de esmalte deja expuesta la dentina a los estímulos mecánicos o térmicos. Este es uno de los síntomas más comunes del bruxismo.
- Dolor facial.
- Fracturas dentales.
- Rigidez muscular.
- Hipertrofia en los músculos maseteros, que son los que se encargan de la masticación.
- Otras manifestaciones derivadas pueden ser vértigos y mareos.
- En algunos casos, deslizamiento o aflojamiento de los dientes frontales, ya que es muy común presionar involuntariamente la lengua contra el paladar mientras se rechinan o presionan los dientes.

Mencionar también que la musculatura de masticación puede aumentar considerablemente debido a la sobrecarga elevada que conlleva el bruxismo, llegando la fuerza de cierre producida en episodios bruxistas a alcanzar valores de 1100 N, según el artículo “Quantitative study of bite force during sleep associated bruxism” de K. Nishigawa, E. Bando y M. Nakano.

Todas estas manifestaciones deben ser tratadas por un odontólogo pero las causas que lo originan deben ser evaluadas por un psicólogo.

3.5. Etiología

Las causas por las que una persona padece bruxismo no están determinadas por completo, pero se han considerado varios factores como responsables de su presencia. Desde los primeros hallazgos al respecto se

hablaba de posibles disturbios en el sistema nervioso central (SNC), lesiones en la corteza cerebral, disturbios de médula en hemiplejias de la infancia, etc. Actualmente se ha observado que el bruxismo se puede presentar en casos sin ninguna relación con trastornos o defectos neurológicos, sino que estas actividades parafuncionales son posibles en sujetos siempre y cuando existan una serie de factores. Por lo tanto, esta patología se presenta gracias a la combinación de uno o más factores, es decir, se considera de carácter multifactorial. A continuación se explican los más importantes.

3.5.1 Factores psicológicos

Definitivamente, en la presencia del bruxismo hay un componente psicológico muy importante. No obstante, hay una gran dificultad para transformar elementos psicológicos en variables operacionalmente válidas que midan el bruxismo. Por lo tanto, los estudios realizados han obtenido hallazgos que son difíciles de interpretar.

Desde la antigüedad se encuentran referencias que identifican la tendencia a apretar y rechinar los dientes con sentimientos de enfado o agresividad. En 1928, Tishler fue quien primero postuló la probable relación entre la neurosis y el bruxismo, y muchos estudios posteriores han propuesto una etiología psicológica en el bruxismo. La mayoría de los investigadores afirman que es sólo uno de múltiples hábitos producidos por la tensión emocional, y lo relacionan con la agresividad reprimida, con la expresión inconsciente de gratificación oral, con la ansiedad consciente e inconsciente, con respuestas exageradas a problemas irresolubles y con falta de habilidad para expresar emociones.

Aun así, tal y como se ha dicho, el rol de los factores psicológicos en la génesis del Bruxismo parece ser menos claro de lo que comúnmente se piensa, existiendo la necesidad de realizar mejores estudios en los que se evalúe la susceptibilidad de un individuo a los factores psicológicos con una clara y válida definición operacional del Bruxismo.

3.5.2 Factores morfológicos

Los factores morfológicos se refieren a las alteraciones en la oclusión dentaria y a anormalidades articulares y óseas. Son varios los autores que concluyen que el bruxismo se origina como un mecanismo inconsciente para eliminar interferencias y obtener el máximo contacto oclusal. Por lo tanto, las anormalidades oclusales que impiden una oclusión estable pueden causar bruxismo.

3.5.3 Factores neurológicos: problemas del sistema nervioso central

Para Pietkiewicz, la causa del bruxismo era una lesión en el SNC. Otros autores también han considerado que es un problema neurológico a nivel central. Pacientes infantiles con parálisis cerebral presentan una alta incidencia de bruxismo. También se ha documentado bruxismo en pacientes comatosos, pacientes con enfermedad “Creutzfeldt-Jakob” (un mal neurológico con formas genéticas hereditarias) y con otros daños cerebrales, de forma que se apoya la teoría de la relación con el SNC.

3.5.4 Factores genéticos

Varios estudios muestran también que el bruxismo puede tener un componente genético y se ha comprobado que hijos de padres bruxistas tienen una mayor incidencia de bruxismo.

Para estudiar un patrón de herencia claro se requieren estudios generacionales e identificación cromosómica. Aunque se ha sugerido una contribución genética en esta patología, también es importante hacer notar que los factores ambientales pueden estar co-involucrados en la predisposición de una persona para bruxar. Se ha visto que entre el 20 y el 64% de los pacientes con bruxismo del sueño pueden tener un miembro de su familia que reporte rechinar. Dicha patología es más frecuente entre mellizos monogóticos que en los dicigóticos. El bruxismo es una parasomnia frecuente, junto con el sonambulismo, la somnilocuencia, la enuresis y las pesadillas nocturnas. Estas son las parasomnias más frecuentes y a menudo se encuentran asociadas entre ellas y también a la familia.

Hublin y Karprio, en una revisión sobre aspectos genéticos de las parasomnias, establece que existiría un rol de éstos en la génesis del bruxismo, pero enfatiza que los mecanismos de transmisión son aún desconocidos, por lo que se requiere una continuación del estudio.

3.5.5 Factores sistémicos

Han sido reconocidos como potenciales factores etiológicos de bruxismo de considerable importancia. Algunos investigadores han relacionado el déficit de magnesio con la enfermedad, e incluso han conseguido solucionar muchos casos con suplementos terapéuticos de magnesio. Otros investigadores afirman que alteraciones gastrointestinales desde alergias alimenticias, desequilibrios enzimáticos en la digestión y disfunciones urológicas crónicas podrían producir bruxismo nocturno. También se ha estudiado cómo los déficits nutricionales y vitamínicos pueden ser una causa potencial.

3.5.6 Factores de trastorno del sueño

Numerosos estudios sugieren que el bruxismo (al igual que el sonambulismo, la enuresis nocturna o los terrores nocturnos) es un síntoma de alguna fase de despertar del sueño. Se ha encontrado también relación significativa con calambres musculares nocturnos, enuresis, dolores cólicos y babeo nocturno, lo que permite sugerir que en el trasfondo de estas parasomnias habría un trastorno del sueño, siendo el bruxismo otra consecuencia. Muchos investigadores han centrado sus estudios en etapas del sueño REM y NREM, ya que en ellos aparecen los síntomas principales y relacionan la aparición de episodios bruxistas a despertares parciales.

3.5.7 Factores de disfunción de la columna vertebral

La disfunción de la columna vertebral se caracteriza por una restricción de la movilidad de la columna cervical, lo que hace que se mantenga una posición anómala de la cabeza sobre el cuello. Esto creará un aumento de la tensión muscular y puede ser un factor que incluya en la hiperactividad muscular en la ATM, lo que puede desencadenar en bruxismo.

3.5.8 Factores fisiopatológicos

Se ha sugerido que el Bruxismo del sueño estaría relacionado principalmente con factores patofisiológicos, lo que corresponde con una gran cantidad de artículos publicados en esta línea en los últimos años. Entre estos factores destacan los disturbios del sueño (explicados anteriormente), la química cerebral alterada, el uso de ciertos medicamentos y drogas ilícitas, tabaco, el consumo de alcohol, etc.

3.6. Diagnóstico

Normalmente, el diagnóstico consta de tres fases. En primer lugar debe realizarse un diagnóstico sintomático de la patología, el cual tiene por objetivo identificar la enfermedad mediante los síntomas. Después podría utilizarse algún instrumento que demuestre con medidas la presencia de bruxismo en el paciente. Por último, se realizará un diagnóstico diferencial en varios ámbitos que más adelante se explicarán.

3.6.1 Diagnóstico sintomático

Como con todas las enfermedades y patologías, determinar si una persona padece bruxismo es una tarea que debe realizarse por expertos en el área, que en este caso son los odontólogos. El diagnóstico del bruxismo del sueño ha recaído dentro del ámbito de la odontología, debido en gran medida a las innegables repercusiones negativas que el bruxismo origina en el aparato masticatorio. Gracias a estas repercusiones negativas o daños dentales característicos, un odontólogo puede determinar si el paciente padece o no bruxismo. El diagnóstico principal es llevado a cabo por un dentista, y el estudio de las causas de su aparición será una labor de la cual están encargados psicólogos, neurólogos, psicoanalistas, etc.

El diagnóstico del bruxismo se basa en la presencia de dos factores:

- Historial de sonidos dentales (no ronquidos) confirmada. Esto ocurre de forma más notoria en el caso de bruxismo excéntrico.
- Facetas de desgaste dentario excesivo no compatibles con desgaste funcional, ajuste oclusal previo, tratamiento dental, desgaste ocupacional o reflujo gastroesofágico.

Además, es muy probable que aparezca uno o más de los siguientes síntomas:

- Cefalea temporal.
- Fatiga o rigidez de músculos masticatorios al amanecer o durante la noche.
- Desplazamiento discal con o sin reducción temporomandibular al amanecer.
- Dientes hipersensibles.
- Hipertrofia maseterina.

3.6.2 Herramientas de medición: polisomnografía y dispositivos diagnósticos

Se puede registrar actividad bruxista tanto por EEG (electroencefalograma), como por S-EMG (electromiografía de superficie) o por EMG (electromiografía). En muchos casos se emplean en el estudio cámaras de vídeo para poder distinguir los episodios bruxistas de los mioclonus o contracciones rápidas de los músculos mandibulares.

Recientemente se han desarrollado varios dispositivos en miniatura que registran la actividad electromiográfica de la musculatura elevadora mandibular, y que utilizan las herramientas mencionadas anteriormente (EEG, SEMG, EMG). Mencionaremos aquí dos de ellos brevemente: Bitestrip y Grindcare. En apartados posteriores ahondaremos más en sus características. Cabe mencionar que en la actualidad, la validez diagnóstica de dichos dispositivos en grupos de pacientes con y sin bruxismo debe ser todavía demostrada por estudios independientes.

- Bitestrip. De la empresa “SLP-MED”. Es un instrumento de un solo uso para diagnosticar y medir el bruxismo. El paciente coloca el Bite Strip en su mejilla sobre el músculo masetero por la noche y el dispositivo registra actividad electromiográfica. Por lo tanto, es un método de cuantificación de los episodios de bruxismo nocturno. Su facilidad de empleo en entorno ambulatorio no supera la escasa validación del método frente a dispositivos más fiables. Algunos estudios revelan que movimientos de la cabeza, contactos en la cara con la almohada y otros eventos pueden dar lugar a cuantificaciones erróneas.
- Grindcare. Además de registrar actividad electromiográfica como en el anterior caso, puede ser utilizado como dispositivo biofeedback. Permite su uso como dispositivo de registro de episodios de apretamiento dentario en ámbito ambulatorio mediante unos electrodos colocados a nivel del músculo temporal. Tampoco está suficientemente validado y se suele emplear más como dispositivo de biofeedback.

Se dispone también de una herramienta con mayor fiabilidad en cuanto a la detección del bruxismo: la polisomnografía, PSG. Es una prueba de múltiples parámetros usada en el estudio del sueño. Permite la evaluación de diferentes parámetros fisiológicos del sueño (EEG, EMG, ECG, electrooculograma, esfuerzo respiratorio y abdominal, saturación de oxígeno, flujo respiratorio), mientras que el registro de audio y vídeo permiten la detección de episodios de actividad rítmica muscular masticatoria (ARMM) y otros tipos de actividad muscular durante el sueño. Particularmente, la electromiografía completa es el único medio fiable del registro de la ARMM que caracteriza los episodios de bruxismo del sueño y que permite su cuantificación de un modo objetivo.

El estudio mediante polisomnografía completa con registro de audio y vídeo y atendida durante toda la noche por un técnico de laboratorio del sueño hospitalario se ha convertido en la forma más fiable para el diagnóstico de trastornos del sueño.

En el caso concreto del bruxismo del sueño se han desarrollado criterios diagnósticos de investigación mediante la cuantificación y clasificación de los episodios de ARMM en el estudio polisomnográfico. Dichos criterios diagnósticos son los siguientes:

- La amplitud media del registro EMG debe ser como mínimo el 10% de actividad de máximo apretamiento voluntario diurno.
- Existen diferentes tipos de ARMM:
 - Episodio fásico. Como mínimo 3 brotes de actividad EMG de una duración comprendida entre 0.25 y 2 segundos.

- Episodio tónico. 1 brote de actividad EMG que dura más de 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 estar separados por menos de 2 segundos.

Por lo tanto, el diagnóstico del bruxismo según este estudio debe realizarse en base a:

- El índice de ARMM. Es el 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 (%).

$$\text{Índice} = \frac{\text{Tiempo total "bruxando"}}{\text{Tiempo total de sueño}} \times 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

- Sonidos de rechinar dentario. Al menos un episodio de ARMM con presencia de rechinar dentario.

De esta forma, podemos clasificar el bruxismo en base a estos criterios como:

- Bruxismo de baja frecuencia: El índice de ARMM es mayor que 2 y menor que 4.
- Bruxismo de alta frecuencia: El índice de ARMM es mayor que 4 o el índice de brotes es mayor que 25.

3.6.3 Diagnóstico diferencial

Se debe realizar un diagnóstico diferencial en tres aspectos.

En primer lugar, debemos realizar un diagnóstico diferencial entre el bruxismo esencial y el bruxismo secundario. Anteriormente se explicó que el bruxismo esencial está relacionado con el estrés, y el bruxismo secundario con lesiones severas del sistema nervioso central, como por ejemplo parálisis cerebral por anoxia durante el parto, lesiones congénitas cerebrales, afectación cerebral isquémica, secuelas de traumatismos craneoencefálicos severos y procesos tumorales, infecciosos o degenerativos del SNC.

En segundo lugar, se debe plantear el diagnóstico diferencial con las enfermedades que producen “trismus”, es decir, contracción espástica de los músculos masticatorios, como ocurre con frecuencia en los pacientes con patología de los molares y muy especialmente en las afecciones inflamatorias del tercer molar inferior, o en procesos tumorales del suelo de la boca y de la base de la lengua.

Por último, hay que realizar los estudios pertinentes para diferenciar el bruxismo de otras enfermedades que dan lugar a molestias dolorosas en la zona retromandibular, como ocurre con: otitis crónica, neuralgia del trigémino, neuralgia del ganglio esfenopalatino y los procesos inflamatorios, litíasicos o tumorales de las glándulas salivares, especialmente, de la parótida. En estos casos, el diagnóstico es bastante sencillo y se basa en una simple exploración médica, pero es necesario realizarlo. También hay otras enfermedades que debemos nombrar que están relacionadas con la artritis de la articulación temporomandibular, como son: poliartritis crónicas inflamatorias o artritis reumatoide.

3.7. Tratamiento

Muchos expertos coinciden en que el tratamiento del bruxismo debe ser integral y multidisciplinario entre el odontólogo y el psicólogo. Antes de iniciarlo, se debe tener claro cuál es la causa del trastorno, que será determinada por el odontólogo según cada caso en particular.

Cabe mencionar también que el bruxismo no se detiene, y no tiene una cura específica. Los tratamientos que a continuación se definen buscan prevenir el daño y evitarlo en la medida de lo posible.

Existen muchísimos tratamientos para el paciente que padece bruxismo, dependiendo del tipo y de la gravedad de la patología se aplicará uno u otro, o incluso varios. Es decir, se debe realizar el tratamiento de forma individualizada dependiendo de los posibles factores etiológicos. En este documento se ha hecho una agrupación de los tratamientos más importantes en cuatro: tratamiento médico, tratamiento farmacológico,

tratamiento conductual y tratamiento físico.

3.7.1 Tratamiento médico

Es el más importante de los que se mencionan, ya que entre sus labores está la prevención y la solución de los daños que se hayan podido ocasionar debido a la aparición del bruxismo en el paciente. Tendremos dos tipos de tratamientos aquí: el tratamiento odontológico y el psicológico.

3.7.1.1 Tratamiento odontológico

Este tratamiento puede llevarse a cabo para evitar daño en los dientes o para repararlo. A menudo se utilizan protectores bucales o aparatos (férulas) para el tratamiento del rechinar y apretamiento de los dientes y de los trastornos de la articulación temporomandibular. Una férula puede ayudar a proteger los dientes de la presión del rechinar.

Una férula bien ajustada debe ayudar a reducir el rechinar de los dientes. Sin embargo, algunas personas descubren que los síntomas desaparecen siempre y cuando utilicen la férula, pero el dolor se vuelve a presentar cuando se suspende. Es posible que la férula no funcione tan bien con el paso del tiempo.

Existen muchos tipos de férulas, algunas de ellas encajan en los dientes superiores y otras en los inferiores:

- Férulas oclusales. Estas férulas se usan especialmente para el bruxismo nocturno.
 - Están construidas de acrílico, generalmente se encajan en los dientes superiores.
 - Deben cubrir toda la superficie oclusal y los bordes de incisivos y caninos.
 - El grosor de la férula ha de ser de unos 2 mm y su superficie plana.
 - Deben conseguirse los máximos contactos bilaterales entre cúspides vestibulares inferiores y la placa.
 - Se construyen con guía canina para que en lateralidad sólo contacten los caninos.
 - El objetivo de su uso es evitar el desgaste dentario y descontracturar la musculatura.
- Férulas de descarga o de “Michigan”. En los casos más graves es necesario su uso.
 - Están contruidos de resina o plástico.
 - Impiden la lesión permanente y la afección de los dientes.
 - Elimina el dolor de mandíbula, de cabeza o de oídos, así como otras molestias que puedan haber aparecido debidas al desgaste de la musculatura de la mandíbula e incluso sin el uso de la férula se pueden llegar a tener mareos debido a la gran presión ejercida sobre la mandíbula.

Un dato interesante proporcionado por “DentalAstur S.A.” es que en España se fabrican al año alrededor de 600.000 férulas de descarga, que es un instrumento del que hablaremos más adelante usado para evitar las oclusiones de mandíbula y su correspondiente apretamiento dental. Como puede observarse por los datos, el empleo de férulas es el mecanismo más extendido por los pacientes que sufren esta patología.

Estos mecanismos descritos son de prevención. Tal y como hemos dicho al principio, también existen otros mecanismos de reparación, como pueden ser:

- Realización de ajustes oclusales. Aunque este también podría considerarse de prevención.
- Realización de restauraciones dentales.
- Realización de ortodoncias.

3.7.1.2 Tratamiento psicológico

Como ya sabemos de puntos anteriores, una de las razones por las que aparece el bruxismo es por trastornos psicológicos o por estar expuesto a grandes cantidades de estrés. Las personas que tienen dificultad para manejar el estrés pueden necesitar la ayuda de psicólogos y profesionales afines, que tratarán las causas psico-emocionales, a través de un cambio de actitud ante los problemas que los aquejan. La psicoterapia ayudaría a la persona afectada a expresar su enojo y controlar la ansiedad o el estrés, lo cual podría evitar un comportamiento bruxista.

3.7.2 Tratamiento farmacológico

Sólo para los casos extremos se reserva este tratamiento que se orienta a la reducción de signos y síntomas, como dolores musculares o de cabeza. Entre ellos destacan:

- Ansiolíticos. El tratamiento con ansiolíticos puede resultar positivo como complemento a los tratamientos psicológicos orientados a reducir el estrés. Fármacos que se usar pueden ser por ejemplo:
 - Diazepan (Valium ®).
 - Clorazepato dipotásico (Tranxilium ®).
 - Clonazepam (Rivotril ®).
- Relajantes musculares. Los relajantes musculares disminuyen la actividad motora relacionada con el bruxismo del sueño, pero se contraindican a largo plazo por somnolencia diurna. Algunos de ellos son:
 - Tetrazepam (Myolastan ®).
 - Metocarbamol (Robaxisal ®).

También se puede realizar una inyección de toxina botulínica, que según estudios reduce también el número de eventos de bruxismo.

3.7.3 Tratamiento conductual

El tratamiento conductual se puede llevar a cabo mediante diferentes formas:

- Concienciación. Se conciencia al paciente de su estado y de cómo tratar de reducirlo, sobre todo cuando es un estado consciente.
- Relajación. En algunas personas, sólo la relajación y la modificación de comportamientos diurnos son suficientes para reducir el bruxismo. Se suele implementar la relajación de la musculatura corporal como alternativa viable para la reducción y eliminación de los estados de nerviosismo, estrés y ansiedad.
- Terapias de modificación de conducta. Se puede llevar a cabo esta labor siguiendo estas pautas que se indican a continuación. Sirven para prevenir situaciones de estrés:
 - Reducir toda actividad excesiva a última hora del día.
 - Descansar de 60 a 90 minutos antes de dormir.
 - No pensar o discutir intensamente.
 - Aplicar una técnica de relajación durante el día y antes de dormir.
 - Mantener buen estado físico. No se aconsejan ejercicios físicos extremos después de las 18:00.
 - Evitar alcohol, café, o té 3 horas antes de dormir, así como comidas copiosas.
 - No fumar después de las 19:00, pues la nicotina aumenta el tono muscular y los despertares, de hecho, el fumar se considera un factor de riesgo.
 - Establecer un ambiente de sueño favorable, agradable y tranquilo.

3.7.4 Tratamiento físico

Son muy pocos los casos en los que un tratamiento físico es necesario. En los casos donde existen molestias o dolor facial causados por el apretamiento, el odontólogo puede remitir al paciente a un terapeuta físico entrenado para tratar problemas de cabeza y cuello. En este tipo de “rehabilitación” se pueden realizar ejercicios de estiramiento, relajación, terapia con calor y frío, etc.

Algunos profesionales también recomiendan la terapia de acupuntura en pacientes que presentan cefaleas crónicas e intolerancia a las placas.

Sin embargo, existe un tratamiento bastante famoso que actualmente sigue en desarrollo. Se trata del *método de estimulación eléctrica transcutánea TENS (Transcutaneous electrical nerve stimulation)*.

Este método consiste en estimular fibras nerviosas de la piel mediante la aplicación de una corriente eléctrica

muy suave a ambos lados de la articulación temporomandibular. El objetivo es el de disminuir el dolor y relajar la musculatura.

La percepción del dolor sólo es posible cuando se activan unas células concretas de la médula y su activación se transmite hasta el cerebro. El TENS pretende impedir la activación de esas células nerviosas. Para ello, aplica una corriente eléctrica demasiado suave como para excitar los nervios del dolor, pero suficientemente intensa como para estimular otras terminaciones nerviosas de la piel.

Su estimulación activa unas células de la médula que liberan una sustancia que se fija a los nervios del dolor e impide que activen las células que perciben el dolor en la médula.

Si la corriente eléctrica es demasiado intensa, excita también los nervios del dolor, lo que limita la intensidad del estímulo que el TENS puede aplicar.

Existen algunos dispositivos comerciales que realizan esta función y que podemos encontrar fácilmente en páginas de venta online.

3.7. Conclusiones médicas

El bruxismo es, como ya se ha descrito anteriormente, una parafunción mandibular persistente que consiste en el apretamiento o el rechinar de las estructuras dentales.

La principal conclusión que extraemos es que es una patología muy extendida y con gran prevalencia, que se presenta independientemente de la edad o del sexo de la persona.

Existen diferentes clasificaciones de bruxismo dependiendo de varios factores como el momento en el que se presenta, la dirección del movimiento de la mandíbula, el grado de afectación o las causas por las que se produce.

Se considera una enfermedad multifactorial, es decir, aparece por diferentes causas. Entre las principales causas de aparición de bruxismo, están los psicológicos y los neurológicos, que consideran lesiones en el Sistema Nervioso Central (SNC).

Su tratamiento será llevado a cabo por psicólogos y odontólogos.

4 ESTADO DEL ARTE

Dentro del ambiente tecnológico industrial, se entiende como “estado del arte”, “estado de la técnica” o “estado de la cuestión” a todos aquellos desarrollos de última tecnología realizados en referencia a un tema, que han sido probados en la industria y han sido acogidos y aceptados por diferentes fabricantes.

En este apartado se mencionarán:

- Diferentes dispositivos existentes.
- Patentes más relevantes relacionadas con el diagnóstico y tratamiento del bruxismo.
- Aplicaciones para móviles o tabletas relacionadas con la patología.

4.1. Dispositivos comerciales

Además de las férulas (ya mencionadas en apartados anteriores) existen algunos dispositivos electrónicos relacionados con esta patología. Explicaremos las características de algunos de ellos en el mercado, basados en alguna patente o no, que se utilizan actualmente para uso diagnóstico o terapéutico.

4.1.1 De uso diagnóstico

Entendemos por dispositivos de uso diagnóstico aquellos dispositivos capaces de reconocer la enfermedad del bruxismo y alertar al paciente o al médico de su aparición, pero no son capaces de paliar o disminuir sus efectos ni corregirla, es decir, no pueden aportar un tratamiento al enfermo.

Principalmente existe un dispositivo que realiza esta función que es bastante famoso. Se describe a continuación.

4.1.1.1 BiteStrip®

BiteStrip es un instrumento preciso y económico de un solo uso para diagnosticar el bruxismo, detectando su existencia, su intensidad y su frecuencia. Este dispositivo puede ser utilizado por el mismo paciente en casa, y se trata de un dispositivo exacto que puede servir para asegurarse de que no va a fracasar un tratamiento implantológico por un bruxismo enmascarado. Sus indicaciones son comparables a los estudios formales del laboratorio del sueño. Está disponible a través de distribuidores de productos médicos de todo el mundo, a un precio bajo para el público, que ronda los 60€.



Figura 4.1. BiteStrip®

Ha sido creado por la empresa “SLP-MED” y se basa en la patente WO0305160.

4.1.1.1.1 Descripción

El dispositivo es capaz de realizar un electromiograma (EMG) completo en miniatura. Incluye:

- Dos electrodos con gel.
- Un amplificador.

- Un microprocesador que trabaja en tiempo real capaz de adquirir datos.
- Hardware y software necesario para los datos.

El sistema completo, de peso ligero, se coloca en la mejilla del usuario. Analiza, como ya se ha dicho en tiempo real, las ondas del EMG de los músculos de la mandíbula durante la noche y presentando el resultado en el display. El dispositivo no necesitará una memoria de datos grande. El resultado de la prueba indica el número de acontecimientos bruxistas descubiertos por hora de sueño (índice bruxista o BI, o lo que describimos anteriormente como índice de ARMM). Esta indicación aparecerá como marcador permanente en la pantalla para disponer de una lectura fácil. El dispositivo puede servir como el registro médico de la prueba.

4.1.1.1.2 Utilización

El paciente coloca el BiteStrip sobre su mejilla por la noche. La luz roja de la unidad indica la colocación apropiada. Mirándose frente a un espejo el paciente deberá morder 2 veces en máxima oclusión una espátula de madera que se proporciona. El paciente deberá repetirlo 2 veces más. La luz roja parpadeará cada vez. Si la luz no parpadea al apretar los dientes, el paciente deberá quitárselo con cuidado y cambiarlo.



Figura 4.2. Uso del BiteStrip®

El estudio requiere un mínimo de 5 horas. Se debe informar al paciente de que debe quitarse el sensor por la mañana con la pegatina verde intacta.

El número o la letra sobre el visor muestra la intensidad del bruxismo que prevalece. El paciente deberá devolver cuanto antes el BiteStrip a su médico para la interpretación.

4.1.1.1.3 Interpretación del visor

El visor consiste en un solo dígito o letra, que aparece en negro sobre un fondo plateado brillante. La valoración final representa cinco resultados posibles, basada en la gravedad del bruxismo:



Figura 4.3. Interpretación de BiteStrip®

- L. Bruxismo nulo o leve: correspondiente a 30 episodios en 5 horas de sueño.
- 1. Bruxismo leve: Correspondiente de 31 a 60 episodios en 5 horas de sueño.
- 2. Bruxismo moderado: Correspondiente de 61 a 100 episodios en 5 horas de sueño.
- 3. Bruxismo grave: Correspondiente a 100 episodios o más en 5 horas de sueño.
- E. Error en el estudio.
- -. No actividad muscular

4.1.1.1.4 Avisos y precauciones

Los resultados del test son permanentes y no podrán ser alterados, por lo que se puede guardar como prueba. Entre las precauciones recomendadas por el fabricante tenemos:

- Instruir al paciente de que siga todos los pasos sin pausa entre los mismos. Es muy importante colocar el dispositivo en la cara justo después de su activación, seguido de la mordida de la espátula.
- Pacientes con pelo facial no podrán usar el BiteStrip, ya que la adherencia a la piel es indispensable para el éxito del test (los hombres deberán afeitarse).
- Tocar el visor puede causar que se encienda la luz roja momentáneamente. Esto no es un problema, por lo que se podrá utilizar el aparato todavía.
- El BiteStrip deberá guardarse en un lugar frío y seco hasta su uso.
- El médico debe repasar con el paciente la forma correcta de ponerse el BiteStrip.
- Si se aprecia cualquier reacción cutánea adversa o sarpullido en el lugar de aplicación, deberá consultar con un dermatólogo.

4.1.2 De uso diagnóstico y terapéutico

Hay muchos más dispositivos que realizan la función de diagnóstico y tratamiento. A diferencia del caso anterior, estos dispositivos son capaces, además de detectar la aparición del bruxismo en un paciente, de proporcionar un tratamiento adecuado que disminuya los efectos.

Normalmente, estos dispositivos tienen un sistema de detección de bruxismo, y a continuación, emiten algún tipo de estímulo para alertar al paciente de que está sufriendo un episodio de la patología y así, poder frenarlo.

4.1.2.1 BruxStop ®

Este dispositivo utiliza una tecnología parecida, sino casi igual, a la tecnología TENS (método de estimulación eléctrica transcutánea), descrita en el apartado 3.7.4.



Figura 4.4. BruxStop ®

El BruxStop es un nuevo dispositivo con marcado CE en homologación de equipos sanitarios. Sirve como tratamiento al bruxismo nocturno, y está basado en biofeedback durante el sueño. La gran ventaja que ofrece, si lo comparamos con otros dispositivos similares que realizan la misma función, es que el paciente no se despierta por el estímulo emitido.

La eficacia de este dispositivo está basada en la detección de actividad muscular en el sistema masticador y en la administración de pequeños pulsos eléctricos cuando la medida de la actividad muscular supera ciertas condiciones. Normalmente estas condiciones suelen ser que se supere un umbral definido durante un tiempo mínimo de 2.5 segundos.

El pequeño pulso eléctrico asegura una relajación del músculo que provoca un reflejo por el cual el paciente abre la boca y deja de ejercer presión. De esta forma, es como BruxStop interrumpe la actividad bruxista.

La repetida interrupción de la actividad bruxista tiene como resultado una gran reducción de daño en los dientes y diferentes síntomas, como dolores de cabeza, dolores de cuello, fatiga y dolores de mandíbula.

Su precio es bastante elevado, alrededor de unos 1000€.

4.1.2.2 Grind Alert ® o SleepGuard ®

El producto denominado Grind Alert fue desarrollado por la empresa “Bruxcare”. Este producto detecta la actividad bruxista por S-EMG (electromiografía de superficie) y actúa emitiendo una señal acústica ajustable con la intención de alertar al paciente y crear un reflejo condicionado por el sonido.



Figura 4.5. GrindAlert ®

Una importante observación es que el dispositivo no está aprobado o incluso reconocido por la FDA (Administración de Alimentos y Medicamentos americana). Por lo tanto, existe muy poca documentación que apoye la eficacia del dispositivo. La empresa reconoce algunas deficiencias graves con el diseño, y parece que actualmente se encuentran en modo de aprendizaje con el dispositivo, hablando con gente que lo ha tenido durante algún tiempo y tratando de entender qué funcionaba y qué no funcionaba.

Por esta razón, la empresa “Holistic Technologies” se encargó de crear de nuevo este dispositivo, que evolucionó al denominado SleepGuard, y es el que actualmente se comercializa, ya que han conseguido que funcione correctamente. En tema de diseño y hardware, a simple vista el SleepGuard parece igual que el GrindAlert.



Figura 4.6. SleepGuard ®

Ambos productos están basados en la patente US6270466 de Lee Weinstein y colaboradores, que se explicará en apartados posteriores.

Se coloca en la cabeza como una banda, y al igual que otros dispositivos, antes de usarlo se debe llevar a cabo un testeo, es decir, una simulación o prueba en la que el paciente apriete sus dientes para que el dispositivo tenga una referencia de señal. Esta referencia se conoce como “nivel inicial de mordida”, y una vez establecida, el paciente debe realizar los siguientes pasos antes de irse a dormir:

1. Apretar el botón del centro del SleepGuard y esperar 10 segundos antes de poner en la cabeza.
2. Poner en la cabeza la banda ajustable, y cuando un par de pitidos rápidos suenen, el paciente sabrá que SleepGuard está funcionando.
3. Dormir y dejar al dispositivo de biofeedback trabajar.

Como ya se ha dicho, cuando el dispositivo detecta actividad bruxista, éste emite un leve sonido ajustable en intensidad por el paciente, que lo alerta de que está sufriendo un episodio. El sonido, según el fabricante, no despierta al paciente.

El display puede mostrar diferentes datos. El usuario es quien decide lo que se muestra:

- El apretamiento. Número de veces que se ha apretado desde la última vez que se hizo un reset.
- Tiempo total de apretamiento. Duración del apretamiento con mayor fuerza desde la última vez que se hizo reset.
- Volumen personalizado. Volumen del tono de la señal de biofeedback.
- Nivel de mordida. Cómo de fuerte es la mordida que se necesita para activar el sonido de biofeedback.

Para finalizar, su precio en Amazon® ronda los 400\$.

4.1.2.3 GrindCare ®

Este dispositivo, creado por la empresa “LuxaDent”, mide precisamente cuánto se aprietan los dientes, y puede reducir el rechinar de estos mientras el paciente está dormido.

GrindCare® trabaja registrando la actividad muscular y enviando pequeños impulsos eléctricos que interrumpen el apretamiento. Viene con un electrodo de peso ligero que se coloca en la sien cuando el paciente se va a dormir, por lo tanto, trabaja toda la noche sin que éste tenga por qué despertarse.



Figura 4.7. GrindCare ® y su uso.

En 2013 se realizó un estudio piloto por el *Manchester Dental Hospital*, en el que se reclutaron a 19 enfermos de bruxismo para realizar pruebas con el aparato. Fueron instruidos para utilizarlo durante todas las noches en un periodo de observación de 5 semanas. El resultado fue que 11 de los 19 pacientes (58%) mostraron una reducción en cuanto a dolores de cabeza y dolores de mandíbula, y que las mujeres y jóvenes reaccionaban mejor al tratamiento que los hombres.

Como el estudio resultó favorable, comenzaron a comercializarlo, y su precio es de aproximadamente 800\$.

4.1.2.4 Cycura – Oral Sensor ®

El sensor oral Cycura fue patrocinado por la empresa “TMJ Stop”, y básicamente está formado por una férula de descarga comunicada mediante un conducto con el oído del paciente, de tal manera que al producirse un

episodio bruxista se genera un silbido no configurable en dicho conducto que alerta que la actividad.



Figura 4.8. Cycura Oral-Sensor ®.

La idea de este dispositivo, basado en la patente US 6164278 A que se explicará más adelante, es que cuando se produzca el episodio, al emitirse el sonido el paciente se despierte y deje de apretar los dientes. Esto puede ser un inconveniente ya que hay otros dispositivos que no despiertan al paciente.

Como ya se ha dicho, el sonido no es configurable, pero la fuerza de mordida con la que éste se activa sí que lo es.

Se ha buscado información acerca del precio y de su compra, pero no se ha encontrado. No es un dispositivo que haya obtenido mucha fama entre los pacientes y odontólogos.

4.1.3 Comparativa de los dispositivos

Vamos a realizar una tabla comparativa de los distintos dispositivos comerciales mencionados anteriormente. Los parámetros que vamos a comparar son los siguientes:

- Si son de diagnóstico y/o de tratamiento.
- Estímulo. En el caso de que sea un dispositivo terapéutico, de qué tipo es el estímulo que emite para frenar el episodio bruxista.
- Precio aproximado.
- Si ha llegado a comercializarse.
- Opinión personal. Este parámetro es meramente subjetivo.

	Diagnóstico	Tratamiento	Estímulo	Comercializado	Precio	Opinión
BiteStrip	Sí	No	-	Sí	60€	Cumple bien su función y tiene buena fama para el diagnóstico.
BruxStop	Sí	Sí	Pulso eléctrico	Sí	1000€	Tiene marcado CE, lo que lo hace más fiable. No despierta al paciente.
GrindAlert	Sí	Sí	Sonido	No	-	No llegó a aprobarse por la FDA.
SleepGuard	Sí	Sí	Sonido	Sí	400€	Cumple bien su función, pero tiene unas dimensiones más elevadas que otros y

						puede resultar incómodo al paciente.
GrindCare	Sí	Sí	Pulso eléctrico	Sí	800€	Tiene un funcionamiento casi igual al BruxStop, siendo su precio más bajo. Con el inconveniente de que está menos testado.
Cycura Sensor	Sí	Sí	Sonido	-	-	Hay muy poca información acerca del dispositivo. Además, al emitir el sonido despierta al paciente y eso puede resultar un inconveniente.

Tabla 4.1. Comparativa de dispositivos comerciales.

4.2. Patentes

En este apartado mencionaremos algunas de las patentes consideradas más relevantes. Algunas de ellas han sido la base del estudio de algún dispositivo mencionado en el apartado anterior que ha llegado a comercializarse.

Claro está que existen muchísimas más aparte de las que se muestran aquí.

4.2.1. US6270466 B1. Aparato de biofeedback para el bruxismo y método que incluye un transductor acústico acoplado junto a los huesos de la cabeza.

Lee Weinstein, Thomas E. Devlin, Karl T. Ulrich, Clay Burns, «Bruxism biofeedback apparatus and method including acoustic transducer coupled closely to user's head bones». Patente US6270466 B1, 7 Agosto 2001.

Esta patente es en la que están basados los dispositivos GrindAlert y SleepGuard vistos anteriormente. El funcionamiento es como se explica a continuación.

El aparato básicamente consiste en unos electrodos puestos en una banda para la cabeza de peso ligero, que se puede poner cómodamente el usuario mientras está durmiendo o despierto. Esta es una diferencia con los aparatos visto anteriormente, la patente piensa también en el caso de que el paciente esté despierto, es decir, no se centra solo en el bruxismo del sueño como la mayoría de los dispositivos.

Los electrodos que rodean la cabeza toman señales superficiales EMG que indican la actividad bruxista, y con biofeedback se provee al usuario mediante un transductor piezoeléctrico que está en contacto con la cabeza. Un electrodo del transductor piezoeléctro sirve también como electrodo de referencia. Estos no tienen componentes químicos, con lo que se puede llevar el aparato por periodos considerable sin que haya irritación de la piel.

Se proporcionará información del ritmo, cantidad y duración de eventos bruxistas que será almacenada internamente para mostrarla después vía display, interfaz de ordenador u otro sistema de visualización del estilo.

Cuando la señal EMG satisfaga cierta condición preestablecida de tiempo o de amplitud, una señal acústica para el tratamiento biofeedback será generada. Esta señal podrá comenzar con un volumen más bajo e ir subiendo poco a poco hasta que la actividad bruxista cese. En este momento la señal cesará rápidamente, haciendo que el paciente no se despierte.

En la propia patente se nos muestran imágenes que proponen varios diseños que podrían llevarse a cabo basándose en ella.

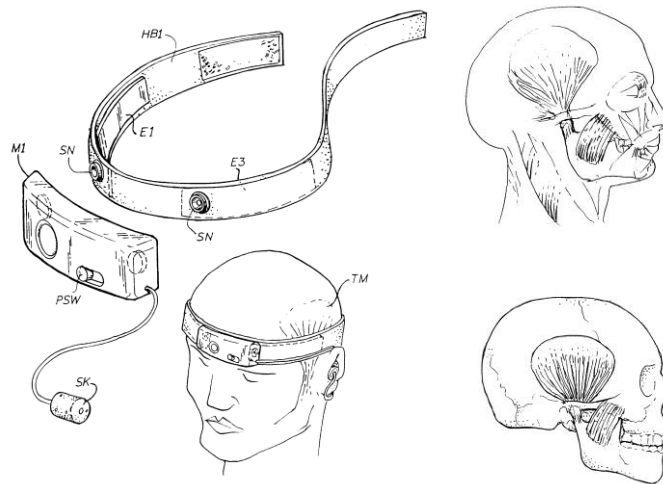


Figura 4.9. Banda para la cabeza y diagrama muscular.

En la parte de la izquierda podemos observar cómo sería el diagrama completo del aparato y cómo se colocaría en la cabeza. Es una vista esquematizada en la que podemos ver también el uso de electrodos que irían colocados cerca de los músculos temporales.

En la parte de la derecha se nos muestra un esquemático de los músculos temporales y maseteros (los encargados de la masticación) cuando el paciente no aprieta los dientes, frente a cuando se produce un apretamiento de ellos.

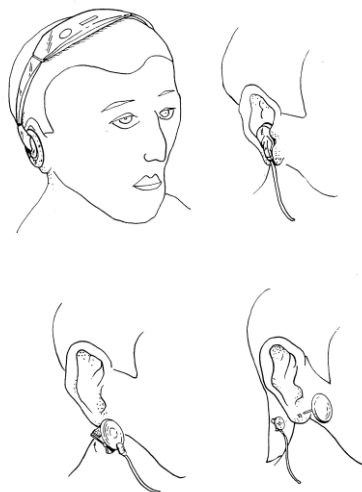


Figura 4.10. Alternativas headband.

En esta figura, los creadores de la propia patente nos proponen alternativas en varios sentidos:

- Primero, en el lugar donde se coloca la banda de la cabeza. Podría colocarse no sólo en la frente, sino más arriba.
- En segundo lugar, proponen una alternativa en cuanto al aparato que produce el pequeño sonido que funciona como estímulo. Inicialmente, este sonido iría directamente acoplado a la banda de la cabeza, pero en este caso, se puede poner en la oreja mediante auriculares de forma que sólo sería audible por el propio paciente.
- Finalmente, en las dos figuras de abajo se propone la alternativa de poner también los electrodos en la oreja, en lugar de solamente en la banda.

4.2.2. US6164278 A. Diseño de un dispositivo para la prevención del apretamiento de dientes y mordida.

Moti Nissani, «Taste-based approach to the prevention of teeth clenching and grinding». Patente US6164278 A, 26 Diciembre 2000.

En esta patente está basado el último de los dispositivos “Cycura – Oral Sensor”, aunque como es lógico, con algunos cambios. Si recordamos, este dispositivo emite un estímulo eléctrico cuando se produce actividad bruxista, y el que estudiamos actualmente tiene un estímulo totalmente diferente.

Se trata de una modalidad de biofeedback distinta a la que hemos descrito hasta ahora. En este caso, el estímulo será un líquido. Se introduce un líquido aversivo y desagradable para quien lo reciba en pequeñas cápsulas de polietileno. Estas cápsulas irán dentro de cada una de las ranuras laterales que se muestran en la imagen.

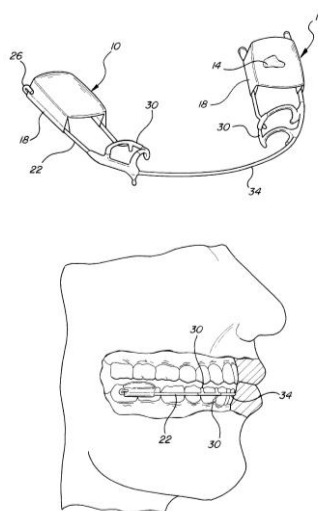


Figura 4.11. Férula terapéutica con líquido.

Cuando se produzca un episodio bruxista, el paciente apretará la férula y hará que el líquido dentro de las cápsulas se libere en la boca, lo que hará que llame la atención del paciente, éste se despierte y se detenga la actividad dañina. Un gran inconveniente visible después de decir esto, es que el paciente tiene que despertarse cada vez que sufra de la dolencia.

Como se puede observar con el dispositivo Cycura, se pueden hacer diferentes variaciones de esta férula adaptándola a los requerimientos que parezcan oportunos.

4.2.3. EP1110518 A1. Dispositivo para prevenir el bruxismo.

M. A. Burger, «Device for preventing bruxism». Patente EP1110518 A1, 27 Junio 2001.

En esta patente se basa el dispositivo BruxStop, y podría decirse que también el Cycura.

Es un dispositivo para prevenir el bruxismo formado por una férula que se fija a los dientes. Dispone de un material eléctrico conductor, que va conectado a una unidad de control. Cuando se produce un episodio bruxista se suministra un impulso eléctrico.

La férula se comunica con la unidad de control mediante unas antenas pequeñas que reciben las señales eléctricas y se sitúan al borde de la férula.

El montaje quedaría como se expone en la figura.

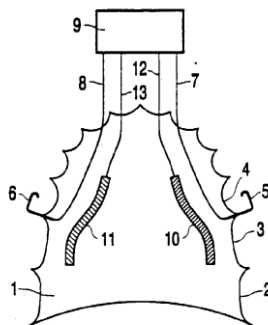


Figura 4.12. Férula con descarga eléctrica

4.2.4. US5078153 A. Método y aparato para la sensibilidad y el tratamiento del bruxismo.

Jeffrey Y. Nordlander, Louis J. Gallia, Dennis A. Burman. «Method and apparatus for sensing and treating bruxism». Patente US5078153 A, 7 Enero 1992.

El aparato consiste en una férula con un funcionamiento similar a los explicados anteriormente, un auricular y un receptor con ondas de radio que actúa de controlador, el cual se puede colocar en un montaje en la muñeca a forma de reloj.

En la férula se sitúan unos emisores de radio que se comunican con el receptor cuando se está produciendo un episodio bruxista. El receptor emite de nuevo ondas, pero esta vez hacia el auricular, que emitirá un leve sonido para alertar al paciente.

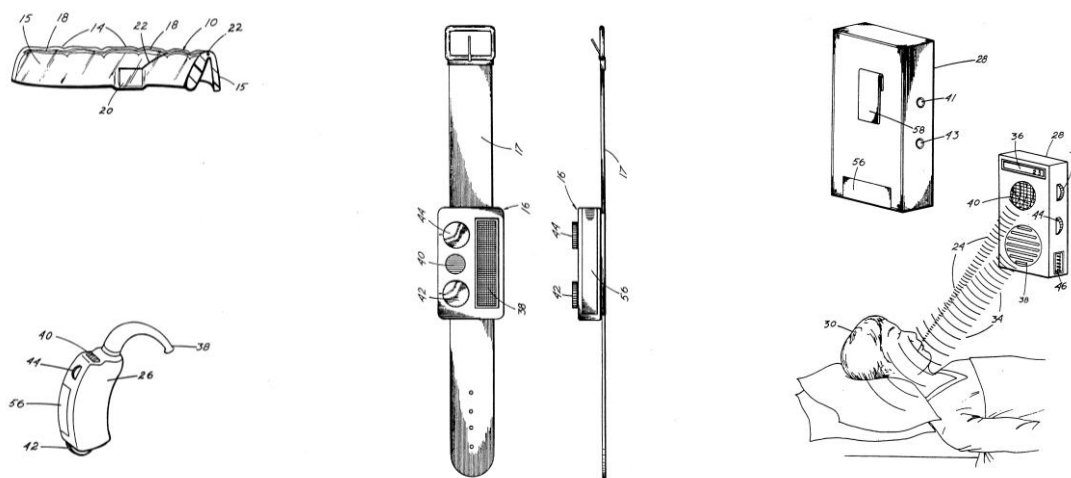


Figura 4.13. Esquemático de la férula que emite ondas radio.

4.2.5. Comparativa de las patentes

Como ya hemos dicho anteriormente, existen muchísimas más patentes que podemos encontrar fácilmente mirando por ejemplo las referencias de cada una de las patentes aquí expuestas. Se ha decidido mostrar esas ya que son las que plasman la idea principal: usar un dispositivo que sea capaz de detectar la presencia de actividad bruxista, y mediante algún tipo de estímulo, intentar frenarlo.

A continuación vamos a hacer una comparativa entre las patentes vistas en el apartado anterior, y lo haremos usando los parámetros que se indican a continuación. En este caso no diferenciaremos si el dispositivo es diagnóstico y/o terapéutico ya que todos los vistos tienen ambas características.

- Estímulo que se usa para avisar al paciente.
- Dimensiones.
- Si disponen de producto comercial.
- Información que proporciona. Si tiene display o algún tipo de visualización para indicar al paciente distintas características de su actividad bruxista: ritmo, duración, número de episodios, etc.
- Observaciones

	Estímulo	Dimensiones	¿Producto comercial?	Información que proporciona	Observaciones
Headband	Sonido	↑↑↑	Sí	Mediante display	Se puede usar cuando el paciente esté despierto también.
Férula con líquido	Líquido aversivo	↓	No	No proporciona	Despierta al paciente para alertarlo de forma desagradable.
Férula descarga eléctrica	Descarga eléctrica	↓	Sí	No proporciona	Se ha mejorado mucho en productos comerciales, añadiendo por ejemplo visualización de parámetros del sueño.
Férula con sonido conectada a reloj	Sonido	↑↑	Sí	No proporciona	También se ha tomado como base de otros productos y se ha mejorado, haciéndolo más ligero.

Tabla 4.2. Comparativa de patentes.

4.3. Aplicaciones

Cuando hablamos de aplicaciones nos referimos a un tipo de programa informático diseñado para permitir al usuario realizar uno o diversos tipos de trabajos. Actualmente, con el uso de dispositivos móviles se ha extendido el término *app*, refiriéndose este a una aplicación informática para dispositivos móviles o tabletas con multitud de funcionalidades. Desde juegos hasta aplicaciones para realizar tareas cotidianas. Se dispone de un abanico enorme que hace que los dispositivos móviles sean más interactivos.

Por eso, se ha realizado una búsqueda de las aplicaciones que pueden estar relacionadas con el bruxismo. La mayoría de las que se han encontrado son para proporcionar información al paciente sobre la enfermedad del bruxismo: qué es, cómo puede diagnosticarse y tratarse, cuáles son los síntomas, etc. No existen aplicaciones que detecten el bruxismo por sí solas, sino que estas sirven de ayuda o apoyo al diagnóstico o tratamiento de algún dispositivo.

Se explican a continuación algunas de ellas.

4.3.1 Stop Bruxism ®

Esta aplicación ha sido creada por Andrew Johnson para ayudar a personas que aprietan la mandíbula.

Como ya sabemos, esto puede suceder mientras el paciente está dormido o despierto, y causa problemas como daño en los dientes, dolor en la mandíbula, dolor de cabeza, etc.

La aplicación consiste en una grabación, que se aconseja escuchar una vez al día/noche durante un periodo mínimo de tres semanas para obtener el máximo beneficio. Tiene una duración de unos 29 minutos y termina intentando que el paciente quede dormido.

La grabación guiará al paciente hacia un profundo estado de relajación, ofreciendo ejercicios y sugerencias directas al subconsciente de la mente para romper el hábito, aflojar y relajar los músculos de la mandíbula, de forma que el paciente libere tensión y malestar.

No es una aplicación gratuita, y su precio ronda los 4€. No se han encontrado referencias de que la aplicación funcione o no.

4.3.2 Teeth grinding ®

Otra aplicación existente es *Eliminate Teeth Grinding App – Hypnosis* que está actualmente disponible sólo para iOS.

En la descripción se indica que tiene una duración de 25-30 minutos, y que es ideal para hombres y mujeres que sufren rechinar de dientes durante el sueño.

Se realiza una sesión de tipo hipnosis en la que se trabaja en la mente subconsciente, de modo que se insta a que cuando se produzca actividad bruxista, ésta cese. Se puede utilizar tanto con el paciente despierto como dormido.

Tiene diferentes características configurables: fondo de imágenes calmantes para elegir, sonidos relajantes personalizados que se pueden activar o desactivar, elección de la duración de la sesión de hipnosis (corta o larga), reloj alarma incorporado para despertar en un momento determinado de la sesión, etc.

Se encuentra en la tienda online de Apple por unos 2€.

Tampoco se han encontrado referencias de personas que hayan usado la aplicación, por lo tanto, no sabemos si cumple su función o no.

4.3.3 BruxOff ®

La empresa italiana *OT Bioelettronica* ha creado un dispositivo para el diagnóstico del bruxismo en pacientes. Consiste en un kit como el que se muestra en la figura.

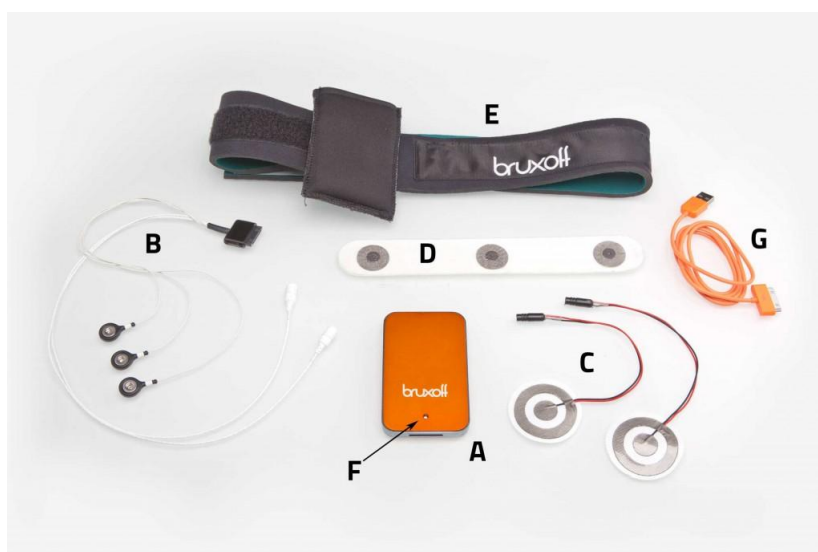


Figura 4.14. BruxOff Kit.

- A. Dispositivo Bruxoff.
- B. Cable para la conexión a los electrodos.

- C. Electrodo EMG.
- D. Electrodo para el corazón.
- E. Cinturón de pecho.
- F. Botón Start / Stop
- G. Cable USB

El dispositivo se utiliza durante la noche, y detecta si el paciente sufre episodios de bruxismo o no gracias a los electrodos y al software que hay en el dispositivo BruxOff.

La aplicación que está disponible para descargar gratuitamente se encarga de explicar paso a paso cómo hay que colocar todos los elementos de los que dispone el kit.

Una mejora que podría proponerse sería que la aplicación almacenara datos que pudieran usarse en un futuro para el tratamiento.

4.3.4 Otras aplicaciones

En este apartado vamos a mencionar otras aplicaciones que no tienen como objetivo principal el diagnóstico o tratamiento del bruxismo, pero que con algún ajuste podría ser interesante usar alguna de ellas para llevar a cabo esa tarea.

4.3.4.1 EMG Biofeedback

También es de la empresa *OT Bioelettronica*. Dispone de otro aparato con electrodos que recoge la señal EMG y la muestra por la pantalla de nuestro dispositivo móvil.

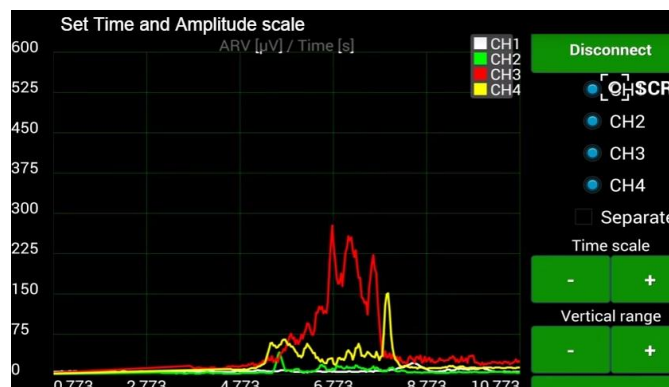


Figura 4.15. EMG Biofeedback app.

Podría usarse para realizar algún tipo de tratamiento de señal y obtener información acerca de episodios bruxistas.

4.3.4.2 Runtastic Sleep Better ®

Esta aplicación registra la calidad del sueño de una persona, monitoriza los sueños, mejora los hábitos a la hora de irse a dormir y hace que el usuario despierte mejor.

Está disponible solamente para dispositivos Android. Tiene una versión gratuita y otra de pago, teniendo ésta última algunas características extra.

El dispositivo móvil se coloca en la cama, junto a la almohada, y puede realizar las siguientes funciones:

- Registra duración de sueño, ciclos y eficiencia.
- Conoce y entiende el sueño ligero del paciente, sueño profundo y el tiempo que pasa despierto en la cama.
- Utiliza una alarma inteligente que suena en el momento ideal dentro de un intervalo de tiempo establecido por el usuario.

- Añade hábitos diarios y factores que afectan al sueño tales como cafeína, consumo de alcohol y niveles de estrés.
- Tiene un historial de sueño.

Esta aplicación también podría sufrir alguna modificación en la que se incorporase la opción de guardar parámetros referentes al bruxismo.

4.3.4.3 Sleep Monitor ®

Es una aplicación creada por una empresa japonesa.

Se encarga de realizar una grabación durante el sueño, y finalmente se muestra una gráfica con la variación del volumen durante la noche. Puede detectarse tanto ronquidos como episodios bruxistas en los que se produce ruido.

Podría usarse como diagnóstico para el bruxismo.

Actualmente está disponible solamente para Android.

4.3.4.4 Night Recoder ®

Es una aplicación disponible para iOS.

Es muy parecida a la del apartado anterior, ya que su funcionalidad principal es la de grabar los sonidos que se escuchan durante la noche, por lo tanto, es conveniente situar el dispositivo móvil cerca del usuario. En este caso, no se muestra una gráfica cuando se acaba la grabación, sino que se dispone de una grabación de toda la noche y el usuario podrá escucharla. Para evitar que el usuario tenga que pasarse horas escuchándola, la aplicación tiene detección de sonidos, por lo tanto recorta pequeños audios para facilitar esa labor.

Se puede realizar un ajuste del nivel de sensibilidad del volumen.

Gracias a esta aplicación, se podrán escuchar ronquidos o rechinar de dientes y se podría utilizar como parte del diagnóstico de la enfermedad que estamos estudiando.

4.4. Conclusiones

Se ha realizado una investigación y un estudio de los dispositivos y patentes que existen actualmente, y hasta dónde se ha llegado con el desarrollo en cuanto a dispositivos para diagnosticar y tratar el bruxismo.

Se ha realizado una búsqueda de las aplicaciones existentes relacionadas con el bruxismo, y se ha llegado a la conclusión de que existen algunas carencias en ellas: ninguna de ellas proporciona un diagnóstico o un tratamiento, y esto es algo que podría desarrollarse, haciendo que la aplicación trabaje conjuntamente con un dispositivo.

Se ha llegado a la conclusión de que hay bastante información relativa a este tema, y que existen muchos dispositivos aplicados, pero con algunas carencias, ya que no disponen de todas las características que consideramos ventajosas.

El dispositivo que pretendemos diseñar debe realizar tanto el diagnóstico como el tratamiento. Entre los que se han mencionado anteriormente no hay muchos que realicen ambas funciones, y tener un dispositivo que realice las dos funciones sería ventajoso para el paciente.

Se busca que sea un dispositivo cómodo, el tamaño debe ser el adecuado. Se irá buscando un diseño lo más pequeño posible para que no sea una molestia para el paciente.

También intentaremos usar un estímulo que no despierte al paciente, con la finalidad de buscar de nuevo la comodidad del paciente.

5 PROPUESTAS DE DISEÑO DEL DISPOSITIVO

En este capítulo se expondrá el diseño propuesto del dispositivo biofeedback para el diagnóstico y tratamiento del bruxismo. Se explicarán cada una de las partes necesarias para su correcto funcionamiento, y además se ilustrarán detalladamente las diferentes alternativas de las que disponemos para llevarlo a cabo.

Es decir, tendremos dos partes principales en este capítulo:

- El planteamiento del diseño del conjunto general, para tener una idea de cómo va a ser nuestro dispositivo.
- El estudio específico de cada una de las alternativas en cuanto a componentes que contemplaremos para el propio diseño.

Para realizar la propuesta de un dispositivo, hay que tener claro qué características o especificaciones debe tener este. Así que antes de nada, se expondrán estas especificaciones, y después, el diseño general de nuestro dispositivo.

5.1 Especificaciones del dispositivo

En primer lugar, como ya hemos dicho, se debe realizar un planteamiento de las especificaciones que debe tener el dispositivo que vamos buscando: cómo queremos que sea, qué características principales debe tener, qué funciones que debe realizar, así como a qué pacientes va dirigido. Con lo cual, nuestro dispositivo deberá cumplir todo lo expuesto a continuación.

5.1.1 Especificaciones médicas

- Debe ser un dispositivo de diagnóstico de bruxismo.
- Debe ser un dispositivo de tratamiento de bruxismo. Este tratamiento deberá efectuarse gracias a los datos obtenidos en tiempo real, por lo tanto, será un dispositivo de biofeedback.
- El paciente espera que se produzca un alivio de dolor y liberación de tensión mandibular. A ser posible, corrección de conducta bruxista o disminución de frecuencia de episodios bruxistas.

5.1.2 Especificaciones técnicas

- Debe poseer capacidad de almacenamiento de los datos obtenidos durante el periodo de tiempo que se esté utilizando.
- Sus dimensiones deben ser mínimas para garantizar la confortabilidad del paciente.
- Minimizar el número de cables por la misma razón que la especificación anterior, vamos buscando la comodidad del paciente. Tendremos comunicación inalámbrica entre dispositivos.
- El paciente podrá elegir entre usar el dispositivo en modo diagnóstico o en modo tratamiento. Se pone esta condición ya que no tendría sentido que se efectuara un tratamiento a tiempo real la primera vez que usa el dispositivo si el paciente no cumple las condiciones para ser diagnosticado de enfermo de bruxismo. Por lo tanto, convendría primero que el paciente fuera diagnosticado positivamente, y en la siguiente sesión, por ejemplo, comenzara con el tratamiento.
- Para ser usado como tratamiento, deberá disponer de un estímulo que sea aplicado cuando se detecte actividad bruxista. Este estímulo no deberá resultar desagradable al paciente y deberá cesar el episodio

bruxista, o al menos disminuir su efecto, es decir, deberá ser eficaz.

- Dispositivo hipoalergénico. No queremos que provoque ningún tipo de alergia en pacientes.

5.1.3 Especificaciones de uso

- Deber ser fácil de usar para que el propio paciente pueda hacerlo en casa sin necesidad de un médico. Aunque antes de que el paciente use el dispositivo solo, se debe asegurar que sabe cómo usarlo correctamente y que conoce las precauciones que debe tener en cuenta.
- Fiabilidad. Esto se conseguirá gracias a un buen diseño y a realizar muchas pruebas de manera satisfactoria para lograr validarlo y corregir posibles errores.
- Debe ser un dispositivo reutilizable. Por lo tanto, debe tener fácil mantenimiento.
- El paciente puede utilizarlo tanto despierto como dormido, es decir, será válido tanto para bruxismo del sueño como de vigilia. En caso de utilizarlo dormido, el paciente no debe despertar.
- Estará disponible para todas las edades y sexos por igual, ya que los síntomas en principio son iguales para todos. No será hasta realizar las pruebas cuando se observe con qué pacientes funciona mejor.

5.2. Planteamiento del diseño general

Una vez expuestas todas las especificaciones deseadas para nuestro dispositivo, procederemos a explicar el diseño propuesto.

Se propone un dispositivo electrónico que se sitúe en la mejilla del usuario, de forma parecida al dispositivo comentado en el apartado 4.1.1., BiteStrip®. Este dispositivo será de peso ligero y trabajará a tiempo real. A diferencia del BiteStrip®, será capaz de realizar no sólo el diagnóstico sino también el tratamiento del paciente. Para llevar a cabo el tratamiento, se utilizará un estímulo que frene la actividad bruxista. Se propone además que el propio dispositivo realice un volcado de datos después de cada sesión de forma automática para tener un historial que pueda valerle al médico que trate al paciente, y de esta forma observar su evolución y sus mejoras, en caso de producirse.

Hasta aquí un resumen del diseño. A continuación vamos a dividir éste en 4 partes (casos de uso) para explicar detalladamente cómo sería el funcionamiento completo, de forma que resulte más fácil tanto la explicación como la lectura. Los casos de uso de los que dispone el dispositivo son:

- Diagnóstico. Debe realizar un diagnóstico de la enfermedad y debe ser fiable.
- Tratamiento. El tratamiento debe ser efectivo y no desagradable al paciente.
- Calibración. Antes de usar el dispositivo en modo diagnóstico o tratamiento, debe realizarse una calibración de éste para establecer los parámetros.
- Volcado de datos. Se añade este caso de uso para disponer de la información que se obtiene gracias al dispositivo y así llevar un seguimiento más exhaustivo del paciente.

5.2.1. Caso de uso 1: Diagnóstico

Como ya hemos dicho, nuestro dispositivo debe realizar un diagnóstico de la enfermedad, el cual debe ser rápido (por ejemplo, que tenga un periodo de duración de una noche), pero sobre todo, fiable. Esta fiabilidad se conseguirá, como ya se ha comentado anteriormente, al realizar muchas pruebas y solucionar errores que se puedan haber cometido.

En primer lugar debemos plantearnos cómo vamos a detectar esta actividad muscular. Para ello, usaremos un **sistema de detección de S-EMG**. El S-EMG, como ya sabemos, es una electromiografía de superficie. Una electromiografía nos ofrece una evaluación y un registro de la actividad eléctrica producida por los músculos. Como vamos a realizar esta medida en la superficie de la cara, utilizaremos el S-EMG. Necesitaremos también entre dos y tres electrodos para colocarlos en la mejilla y conectarlos con el sensor, en el caso de que el sensor no los traiga incorporados.

Será necesario un **convertidor analógico-digital**, que convierta la señal que se toma directamente del S-EMG para que podamos trabajar con ella.

Una vez resuelto el problema de la toma de datos, hay que plantearse de qué forma vamos a manejar estos datos. Para ello, necesitaremos un **microcontrolador**, es decir, un circuito integrado programable que dispone de una unidad de control y otra unidad aritmético-lógica que nos va a servir para realizar los cálculos pertinentes.

Otra alternativa podría ser utilizar un microprocesador en lugar de un microcontrolador. El problema de esto es que además de éste, se requerirán algunos circuitos integrados adicionales, como por ejemplo memoria RAM (para almacenar datos temporalmente), memoria ROM (para almacenar el programa encargado del procesamiento del dispositivo), un circuito integrado para los puertos de entrada y de salida, y seguramente más elementos. Por lo tanto, descartamos el uso de microprocesador de forma independiente.

El microcontrolador dispone de todos los elementos anteriormente mencionados en principio, incluso dispone de un procesador interno. Solamente tendríamos que plantearnos en un futuro el uso de otra **memoria** aparte de las que trae para almacenar registros o transferir los datos que nos interesen, en el caso de que el microcontrolador elegido no disponga de memoria suficiente para nuestra labor.

También necesitaremos **alimentación** para nuestro circuito. Como es un circuito que no necesita muchos recursos, además de que vamos buscando un circuito lo más pequeño y compacto posible, se ha pensado usar una pila de botón, ya que sería la que más se adecuaría a nuestras características.

Por supuesto, haremos uso de otros elementos, pero estos son los principales que necesitaremos.

Con todo esto, una vez elegidos cuidadosamente todos los componentes y conectados de forma adecuada, ya podríamos explicar la forma en la que se va a realizar el diagnóstico del paciente. Nos vamos a basar en el **índice ARMM** (actividad rítmica muscular masticatoria), que nos indica el número de episodios de ARMM por hora, que vimos en el apartado 3.6.2. *Herramientas de medición*.

Resumiendo, los criterios diagnósticos de bruxismo que se explicaron en ese apartado eran:

- La amplitud media del registro EMG debe ser como mínimo el 10% de actividad de máximo apretamiento voluntario. Esto lo aseguraremos cuando se realice la calibración del dispositivo. Se explicará más adelante.
- Hay diferentes tipos de ARMM:
 - Episodio fásico. Como mínimo 3 brotes de actividad EMG de una duración comprendida entre 0.25 y 2 segundos.
 - Episodio tónico. 1 brote de actividad EMG que dura más de 2 segundos.
 - Episodios mixtos. Presencia de brotes tanto tónicos como fásicos.

En cualquier caso, para ser considerados parte de un episodio de bruxismo, los brotes deben estar separados por menos de 2 segundos.

Así que para contabilizar un episodio de ARMM, consideramos que debe ocurrir todo lo siguiente expuesto:

- Debe superar un umbral definido de amplitud o potencia muscular. Este umbral se definirá en el momento en el que se realiza la calibración, ya que para cada paciente puede ser diferente.
- Se supera este umbral de amplitud durante un periodo superior a 2 segundos, o se supera 3 veces sin tener esta duración, pero con una separación en el tiempo entre cada una de ellas de 0.25 a 2 segundos.

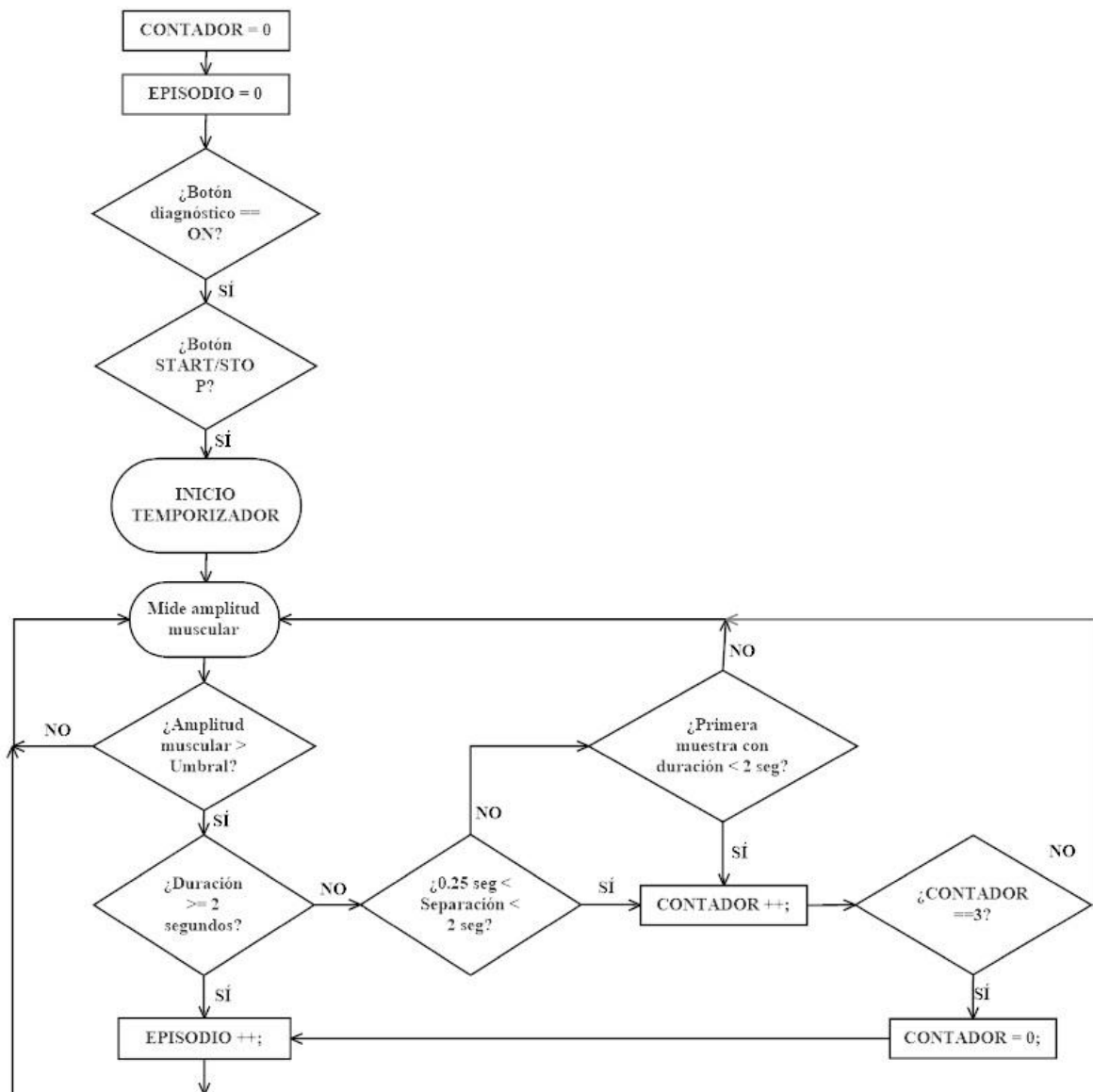
Tendremos un contador de episodios de ARMM que se irá incrementando con cada episodio que se produzca. Cuando termine la sesión de uso del dispositivo, se hará una división entre el número de episodios ARMM sufridos por el paciente y las horas, y de esta forma obtenemos el *índice ARMM*.

Con este índice vamos a realizar el diagnóstico definitivo.

- Ausencia de bruxismo. Si el índice de ARMM es menor que 2.
- Bruxismo de baja frecuencia. El índice de ARMM es mayor que 2 y menor que 4.

- Bruxismo de alta frecuencia. El índice ARMM es mayor que 4.

Se muestra a continuación el algoritmo que debe seguirse para diagnosticar bruxismo, que se ha realizado con el programa *SmartDraw CI*.



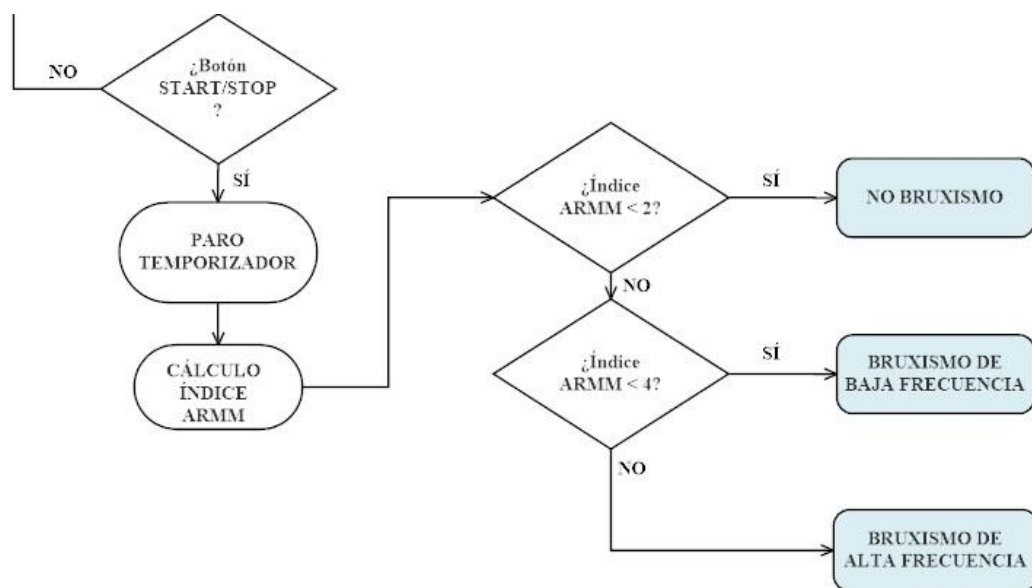


Figura 5.1. Diagrama de flujo del diagnóstico de bruxismo.

En este algoritmo tenemos las constantes y variables:

- **CONTADOR.** Es el que utilizaremos para contar los 3 episodios de bruxismo que tienen una duración menor de 2 segundos y que están separados por un periodo de tiempo de entre 0.25 y 2 segundos.
- **EPISODIO.** Contador que se usará para medir el número total de episodios bruxistas que se sufren durante la sesión de diagnóstico.
- **TEMPORIZADOR.** Para medir la duración total de la sesión. Nos va a servir, al igual que EPISODIO, para calcular el índice ARMM.
- **Amplitud muscular.** La amplitud que está teniendo el músculo facial a tiempo real.
- **Umbral.** Es el umbral que se define al realizar la calibración, que nos indica el valor de amplitud muscular a partir del cual se considera que la fuerza de presión dental no es adecuada, y se puede estar sufriendo un episodio de bruxismo.
- **Separación.** Separación temporal entre dos muestras de amplitud muscular que superan el umbral.

Aunque viendo el diagrama de flujo se puede entender cómo funciona, se adjunta una breve descripción.

En primer lugar se inicializan las variables. Cuando el paciente pulse el *botón D (diagnóstico)* se configurará el modo diagnóstico, que comenzará a ejecutarse cuando se pulse el *botón START/STOP*. Comenzará el temporizador, con el que mediremos la duración total de la sesión. A continuación, se va a estar midiendo la amplitud muscular durante todo el tiempo hasta que en un momento ésta supere el umbral definido durante la calibración. Si la duración de superación en amplitud del umbral definido es mayor o igual que 2 segundos, estamos ante un episodio bruxista, con lo que se incrementará el contador de episodios. En caso contrario (no dure más de 2 segundos), debemos realizar otra comprobación: si la separación temporal entre muestras es de 0.25 a 2 segundos, o si es la primera muestra que nos aparece con una duración menor de 2 segundos. En caso de cumplirse alguna de estas dos premisas, se incrementará el contador de episodios de duración muy pequeña, y se volverá al estado de medición de amplitud muscular. Cuando este contador llegue a 3, lo haremos 0 y se incrementará el contador de episodios bruxistas totales. Se repetirá lo mismo hasta que el paciente pulse el *botón START/STOP*. A continuación, se detendrá el temporizador y se realizará el cálculo del índice de ARMM la siguiente forma:

$$\text{índice ARMM} = \frac{\text{nº de episodios bruxistas}}{\text{duración de la sesión (en horas)}} = \frac{\text{EPISODIOS}}{\text{TEMPORIZADOR}} \quad \text{Ecuación 2}$$

De esta forma se realizará un diagnóstico como ya se explicó anteriormente.

Los datos del diagnóstico de volcarán en la aplicación para que el paciente o el propio médico pueda

visualizarlos de forma sencilla.

De todas formas, antes de pasar al siguiente paso de tratamiento, se aconseja al paciente que muestre los datos al médico.

5.2.2. Caso de uso 2: Tratamiento

Tal y como hemos dicho, nuestro dispositivo también va a realizar un tratamiento que se espera resulte efectivo al paciente.

Antes de que el paciente reciba este tratamiento, es muy importante asegurarse de que el paciente tiene diagnóstico de bruxismo, ya sea con la propia opción que tiene el aparato para ello, mediante un diagnóstico médico realizado por un doctor especialista o mediante cualquier otro medio. Lo importante es que el paciente sepa que tiene esa enfermedad. De lo contrario, si utiliza el dispositivo podría causarse lesiones o daños. En la parte de precauciones del dispositivo deberá reflejarse específicamente esto.

En las instrucciones también se deberá explicar que para usar el dispositivo en modo tratamiento, se debe haber realizado una calibración también anteriormente para que el dispositivo pueda actuar personal e independientemente para cada paciente. Esta calibración ha de realizarse haya habido diagnóstico o no mediante el aparato.

El tratamiento se puede aplicar tanto si bruxismo es de baja frecuencia como de alta. Se espera que sea mucho más efectivo cuando el bruxismo es de baja frecuencia, ya que al aplicar varias veces al paciente el estímulo que frena el episodio bruxista, llegará un momento en el que éste será frenado por el subconsciente. Al ser de baja frecuencia puede ser que llegue a corregirse, aunque como ya se ha comentado anteriormente, la corrección no es algo que garantice el dispositivo.

Debe ser un tratamiento en tiempo real, y el paciente espera obtener alivio de dolor y liberación de tensión muscular. Nuestro dispositivo básicamente va a intentar frenar un episodio bruxista cuando lo detecte. Con esto se espera que el dolor no vaya a más, e incluso pueda reducirse gracias a la desaparición de episodios.

Al igual que en el caso del diagnóstico, debemos plantearnos cómo vamos a realizar el tratamiento y qué componentes vamos a necesitar para llevarlo a cabo. Usaremos los mismos componentes que para el diagnóstico: microprocesador, sensor, memoria, alimentación, etc., y además necesitaremos el **estímulo**.

Usaremos el estímulo, como ya se ha dicho, cuando se produzca un episodio bruxista. Este estímulo deberá poder usarse cuando el paciente esté dormido o despierto. Cuando esté dormido, será importante asegurarse de que la fuerza que ejerce el estímulo sobre el paciente es lo suficientemente grande como para frenar la actividad bruxista, pero lo suficientemente pequeña como para que el paciente no se despierte. Cuando esté despierto, se debe alertar al paciente de que no puede realizar movimientos bruscos con la mandíbula: debe evitar hablar en exceso, masticar comida, y todo aquello que pueda alterar el tratamiento.

La *potencia* a aplicar con el estímulo no será la misma para todos los pacientes. Durante la calibración se pedirá al paciente que ingrese algunos datos de edad, peso, etc., y esto junto con el umbral de amplitud muscular al masticar nos dirá la potencia exacta a aplicar. Esta será la potencia inicial, que se irá aumentando en el caso de que el episodio no frene. Este aumento se hará de forma lineal, y no parará hasta que cese la actividad bruxista. En este único caso, sería posible que el paciente despertase si se llega a unos valores de potencia lo suficientemente altos.

La *duración* del estímulo vamos a mantenerla constante siempre. Al igual que la potencia, la duración debe ser lo suficientemente grande como para que se frene el episodio, pero lo suficientemente pequeña como para no despertar al paciente. En caso de que el episodio no se frene después de aplicar el estímulo, se volverá a aplicar éste, y así sucesivamente hasta que el paciente deje de ejercer fuerza dental.

Al igual que en el caso del diagnóstico, se añade el diagrama de flujo del algoritmo para el tratamiento que va a realizar el microcontrolador, que en este caso es muy sencillo.

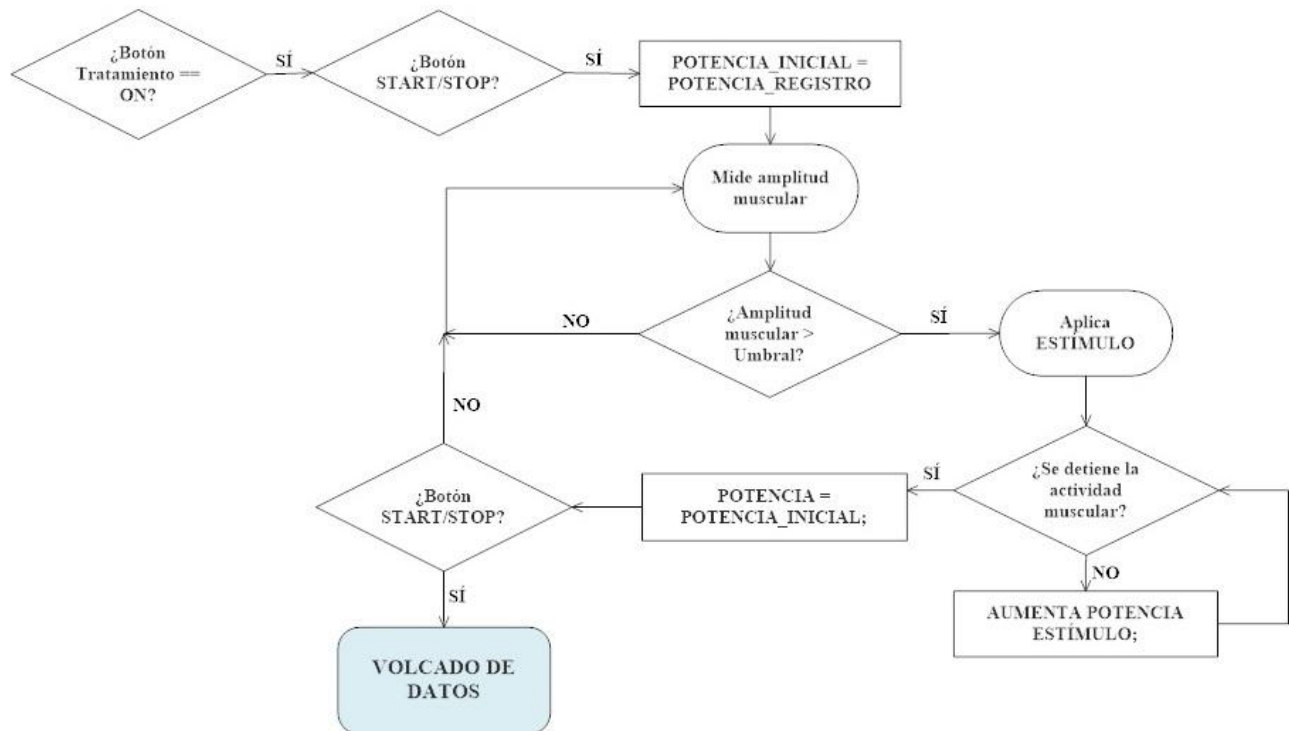


Figura 5.2. Diagrama de flujo del tratamiento de bruxismo.

Tenemos las siguientes variables y constantes:

- **POTENCIA_INICIAL.** Es el valor de potencia inicial que se va a aplicar. Este valor se igualará nada más iniciarse el algoritmo a **POTENCIA_REGISTRO**.
- **POTENCIA_REGISTRO.** Es la potencia que debemos aplicar al estímulo que será diferente para cada paciente. Esta potencia se cogerá de un registro del que dispondremos en el que se habrá almacenado previamente en el proceso de calibración.
- **Amplitud muscular.** Es el valor que toma en amplitud el músculo facial a tiempo real.
- **Umbral.** Es el umbral que se define al realizar la calibración, que nos indica el valor de amplitud muscular a partir del cual se considera que la fuerza de presión dental no es adecuada, y se puede estar sufriendo un episodio de bruxismo. Estará almacenado también en el registro.
- **ESTÍMULO.** Es un agente o señal externa capaz de provocar una reacción en el músculo facial, haciendo que el episodio de bruxismo se detenga.

Este algoritmo funciona de la siguiente forma:

El paciente acciona el *Botón T (Tratamiento)*, cuando accione el *botón START/STOP* deberá tomar del registro el valor de potencia a aplicar. A continuación, en un bucle, irá midiendo continuamente la amplitud muscular. En el momento que ésta supere el valor definido por el umbral, se aplicará el estímulo. Una vez aplicado se comprueba si el episodio ha cesado, y en caso de no ser así, se aumentará la potencia y se aplicará de nuevo. Se repetirá esto hasta que cese el episodio, momento en el que se debe inicializar de nuevo el valor de la potencia a aplicar. Por último, se comprueba si se ha pulsado el *botón START/STOP*. Si no se ha accionado se repite el proceso anteriormente descrito, y en caso contrario, se da por concluido el tratamiento, realizando finalmente un volcado de datos hacia la aplicación para que el paciente disponga de ellos en la aplicación. Estos datos pueden ser útiles para el propio médico que esté tratando al paciente.

5.2.3. Caso de uso 3: Calibración

Se debe realizar una calibración inicial del dispositivo antes de usarlo tanto en modo diagnóstico como en modo tratamiento. Este proceso es necesario, ya que el dispositivo necesita conocer las características básicas de cada persona para poder realizar un diagnóstico y un tratamiento fiable.

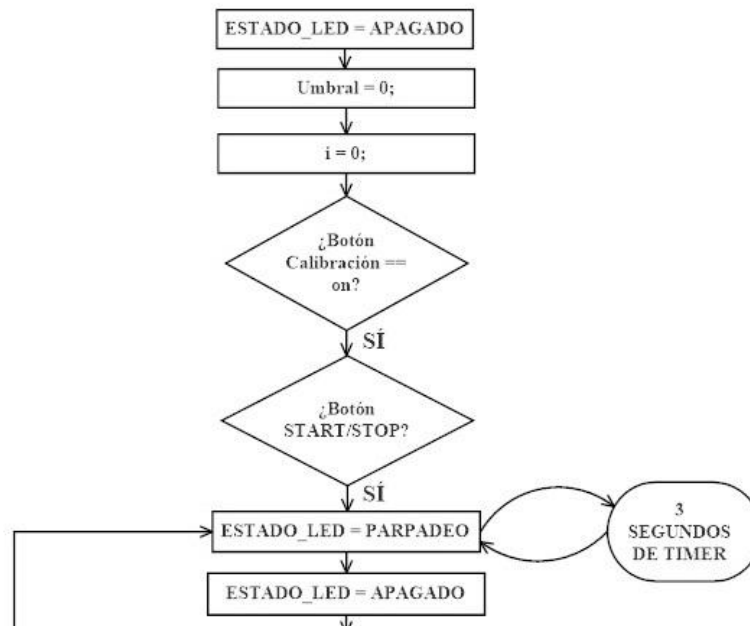
La calibración se realiza para obtener principalmente el parámetro *Umbral de amplitud muscular*. Este valor nos indica amplitud muscular a partir del cual se considera que la fuerza de presión dental no es adecuada, y se puede estar sufriendo un episodio de bruxismo. Tendrá principalmente dos funciones:

- Diagnóstico. Gracias a este parámetro podemos determinar a partir de qué valor estamos sufriendo bruxismo, por lo tanto, gracias a este y al algoritmo expuesto anteriormente, podremos realizar un mejor diagnóstico. Parte de las pruebas será afinar el valor de este umbral lo máximo posible.
- Tratamiento. Utilizaremos este parámetro en combinación con los factores edad y peso del paciente. Se tendrá un registro con valores medios de la potencia a aplicar con el estímulo dependiendo de la edad y del peso solamente (esto se realizará con otra prueba también). A continuación, se realizará un algoritmo que deberá ser estudiado por parte de los médicos con el que se aplique la potencia justa a cada paciente.

Para la calibración se va a utilizar otro componente adicional: un **diodo LED**. Este realizará la función de alertar al paciente cuándo tiene que comenzar a calibrar el dispositivo. Para que la calibración se realice correctamente, se pondrá el dispositivo en modo calibración gracias al botón para esta función. A continuación, se producirá un parpadeo del LED y cuando éste se detenga, el paciente deberá realizar una mordida a la máxima presión que pueda. La mordida será detectada gracias al sensor EMG que se va a utilizar, y se obtendrá un valor de señal que almacenaremos en memoria temporal. Se repetirá esto 3 veces, tras lo cual el dispositivo realizará sus cálculos internos para almacenar el valor del umbral del que estamos usando. Este valor se obtendrá como una media aritmética de los tres obtenidos. Finalmente, para indicar al paciente que la calibración se ha terminado y se ha llevado a cabo correctamente, el LED se quedará encendido hasta que se presione el *botón START/STOP*.

Cabe mencionar que el valor del umbral se quedará guardado en el dispositivo se encuentre apagado o encendido, es decir, estará en memoria permanente. Es el propio paciente el que tiene que saber si ha realizado la calibración o no antes de utilizar cualquier otro modo de funcionamiento. En caso de que el paciente que vaya a utilizar el dispositivo sea otro al inicial, se pulsará el botón *RESET* y se borrarán todos los datos almacenados.

El algoritmo es el siguiente:



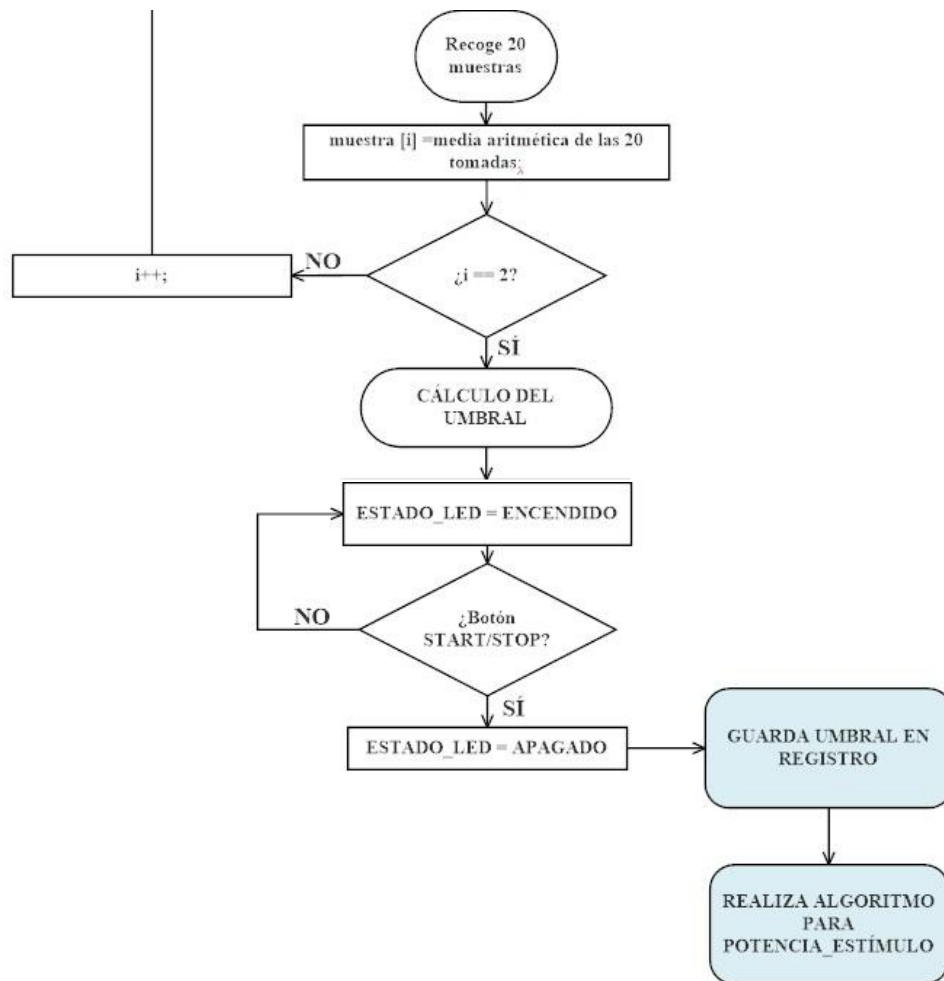


Figura 5.3. Diagrama de flujo calibración.

Tenemos las siguientes constantes y variables:

- ESTADO_LED. Tendrá tres posibles valores: ENCENDIDO, APAGADO y PARPADEO.
- i. Variable que tomaremos como contador para las 3 mordeduras que tiene que realizar el paciente.
- muestra[i]. El valor de cada una de las 3 muestras a almacenar.

En resumen, el algoritmo funciona como se explica a continuación.

Al igual que pasa con los modos anteriores, la calibración no se realizará hasta que se presione el *botón C (Calibración)* y posteriormente el *botón START/STOP*. Una vez comience el modo, el led parpadeará durante 3 segundos y a continuación se apagará. En el momento del apagado, el paciente debe realizar la mordida, y el dispositivo recogerá por el sensor 20 muestras amplitud muscular. A continuación, realizará la media aritmética de estas 20 muestras y ese será el valor que almacenará como primera muestra de las 3 que se necesitan. Se repite este proceso, como ya se ha dicho, 3 veces, y a continuación se realiza el cálculo del umbral. Para realizar el cálculo, se hará una media aritmética de las 3 muestras obtenidas también, y tomaremos como valor umbral:

$$Umbra\!l = 0.7 \cdot \frac{\sum_{i=0}^{i=2} muestra[i]}{3} \quad \text{Ecuación 3}$$

Es decir, tomaremos el 70% del valor obtenido. Este porcentaje puede ir mejorándose y afinándose al realizar las pruebas del dispositivo.

Después del cálculo de este umbral, se encenderá el LED, y quedará en este estado indicando que ya se puede detener la calibración, con lo que el paciente pulsará el *botón START/STOP* y el LED se apagará. Por último,

se realizará una copia del *Umbral* en el registro que se vaya a utilizar, y se realizará el algoritmo (que no está definido, ya que debería estar definido por médicos) para el cálculo de la *potencia_estímulo* a aplicar.

5.2.4. Caso de uso 4: Volcado de datos

Es interesante realizar un volcado de datos en algún otro dispositivo externo en el que se permita la visualización de ellos.

Como propuesta, se podría añadir otro dispositivo al kit completo, algo que tuviera una pantalla en la que se pudiera visualizar correctamente la información. Pero es mucho más sencillo realizar una aplicación informática instalable en los dispositivos móviles, tanto tablets como teléfonos, ya que actualmente todo el mundo dispone de ellos. Tiene más ventajas realizar una aplicación móvil en lugar de utilizar otro dispositivo, entre ellas podemos destacar:

- Sería un dispositivo mucho más económico para el paciente, al no necesitar otro elemento periférico.
- Más cómodo al usar solamente una tirita facial y que ésta fuese conectada a un dispositivo móvil.
- Da la sensación de estar mucho más al día, al estar en contacto directo con las nuevas tecnologías que existen actualmente.

Este volcado de datos se realizará de forma automática en los siguientes casos:

- Después de realizar el calibrado, se deberá copiar los datos obtenidos del *Umbral de amplitud muscular* y de la *Potencia estímulo* que debemos aplicar durante el tratamiento.
- Durante la sesión de diagnóstico, se irán copiando las muestras obtenidas a tiempo real a la memoria que pondremos en el dispositivo. Cuando la sesión finalice, se traspasarán estas muestras mediante la tecnología que se seleccione hacia el periférico elegido para su visualización. También se realizará una copia del valor final obtenido en cuanto al diagnóstico.
- Al igual ocurrirá durante el tratamiento. Se irán copiando datos a tiempo real a la memoria del dispositivo, y cuando terminemos, se copiarán los datos para visualizarlos en el periférico seleccionado.

El volcado de datos se realizará en dos fases:

- Los datos se irán copiando en la memoria a tiempo real. Primero, al finalizar el calibrado, se volcará el dato del umbral final obtenido. En el caso del diagnóstico, volcaremos toda la información que se recopile mientras se está llevando a cabo. Se guardarían los datos y se presentaría en una señal dependiente del tiempo, en la que se podrían ver subidas y bajadas de los valores de amplitud medidos por el sensor EMG, y el paciente podría observar los momentos en los que ha sufrido los episodios. Para el tratamiento se actuaría de la misma forma: guardaríamos los datos obtenidos en la memoria.
- Una vez terminada la sesión de diagnóstico o tratamiento, cuando el paciente pulse el *botón START/STOP*, se realizará un traspaso de los datos de la memoria del dispositivo a la aplicación móvil para representarlos y para que el paciente disponga una visualización más cómoda. Este traspaso de datos se realizará mediante el uso de comunicación inalámbrica WPAN (Wireless Personal Area Network), ya que la finalidad de estas redes es comunicar cualquier dispositivo personal con su periférico. En el siguiente apartado veremos las alternativas de las que disponemos para realizar esta función.

Necesitaremos también **otro componente** dentro de nuestro dispositivo para que realice la función del traspaso de información mediante comunicación inalámbrica. Como no sabemos aún qué tecnología vamos a utilizar, no se puede definir qué componente será. En el punto siguiente se describirán las alternativas en cuanto a tecnologías y componentes que necesitaríamos en cada caso.

Cabe mencionar que en la memoria que coloquemos en el dispositivo para el almacenamiento temporal tendremos tres tipos de datos:

- Permanentes. Los datos permanentes son los relativos al registro con valores medios de potencia a aplicar con el estímulo que dependen de la edad y del peso solamente. Estos datos serán proporcionados por un médico que haya realizado estudios al respecto, y se usarán en la etapa de

calibración.

- **Semi-Permanentes.** Son aquellos relativos al paciente que deberán estar almacenados siempre y cuando no se presione el *botón RESET*, que en nuestro caso indicará un cambio de paciente. Datos semi-permanentes son el umbral, la potencia estímulo, la edad, el peso, etc.
- **Temporales.** Una vez que se ha realizado correctamente el traspaso de los datos en el diagnóstico y en el tratamiento desde la memoria hasta el periférico, se borrarán de ésta con la finalidad de tener suficiente espacio para la siguiente sesión.

5.2.5. Esquema general

Una vez que ya sabemos cómo funciona nuestro dispositivo, se muestra a modo de ilustración un esquema con el diseño que se propone.

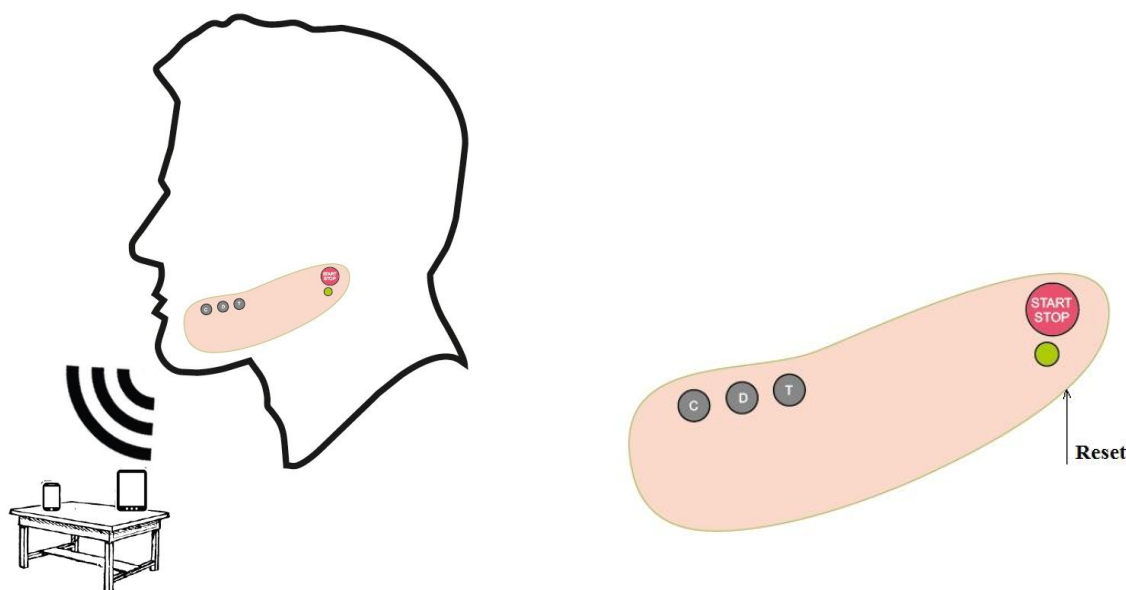


Figura 5.4. Esquema general del dispositivo y detalle.

El dispositivo se coloca en la parte inferior de la mejilla, justo donde se encuentran los músculos maseteros, que son los encargados de la masticación. Podemos ver donde se encuentran estos músculos en la Figura 4.9.

Como se observa en la figura, disponemos de los siguientes botones en el dispositivo, cuyo funcionamiento se ha explicado ya en apartados anteriores:

- **Botón C.** Para activar la calibración.
- **Botón D.** Para activar el modo diagnóstico.
- **Botón T.** Para activar el modo tratamiento.
- **Botón START/STOP.** Para iniciar o finalizar alguno de los otros modos.
- **Botón Reset.** No se aprecia en la figura pero se encuentra en el lateral. Tendrá que ser un botón pequeño y no de fácil acceso. Lo ideal sería pulsarlo con algún instrumento pequeño para que no sea fácil accionarlo.
- **LED verde.** Para alertar al paciente de sucesos que ocurran. Básicamente se usa durante la calibración.

5.3. Especificación de las alternativas

El objetivo de este apartado es proponer un diagrama de bloques para nuestro dispositivo y los componentes que necesita, explicando en qué consiste cada uno de ellos. También se expondrán las alternativas de cada uno de los componentes principales que forman el conjunto total del dispositivo.

5.3.1 Diseño del diagrama de bloques del dispositivo

5.3.1.1 Introducción: bloques principales

Para el diseño del diagrama de bloques nos hemos basado en los modelos de la empresa *Texas Instruments*, en general para el *Diseño de un instrumento médico portátil* y en particular en el modelo del *Electrocardiograma*, que será muy parecido al S-EMG que es el que necesitaremos nosotros. Se realizarán modificaciones en base a las necesidades del dispositivo para el bruxismo.

Principalmente el dispositivo estará formado por 4 partes o bloques principales:

- Interfaz Analog Front-End / Sensor. Esta es la parte de nuestro dispositivo que interactúa con el usuario. La idea general es que esta parte sea la responsable de recolectar los datos de entrada del usuario (en nuestro caso mediante el S-EMG), para su posterior transformación en base a las especificaciones deseadas. Las señales que se miden con sensores o dispositivos médicos son señales de muy baja amplitud y baja frecuencia. Será necesario por esta razón una pre-amplificación antes de realizar la conversión A/D para el procesamiento de la señal.
- Microcontrolador. El microcontrolador será el encargado de ejecutar las funciones necesarias para el procesamiento de la señal medida en la etapa anterior. Será encargado también de controlar los dispositivos periféricos que necesitemos. Tiene un alto nivel de integración de circuitos que simplifica el diseño y reduce el coste.
- Conectividad. Como ya se ha comentado, necesitaremos una interfaz inalámbrica para realizar el volcado de datos hacia la aplicación y para comunicarse con el dispositivo externo. Entre otros, algunos de los parámetros que tendremos en cuenta serán: consumo de energía y velocidad de datos.
- Alimentación. La toma de decisiones en cuanto a administración de energía al principio del ciclo de diseño nos ayudará a definir las compensaciones a nivel de sistema necesarias para cumplir los objetivos en tiempo de ejecución. Los productos médicos pueden utilizar baterías desechables o recargables.

Un diagrama de bloques general para este caso sería:

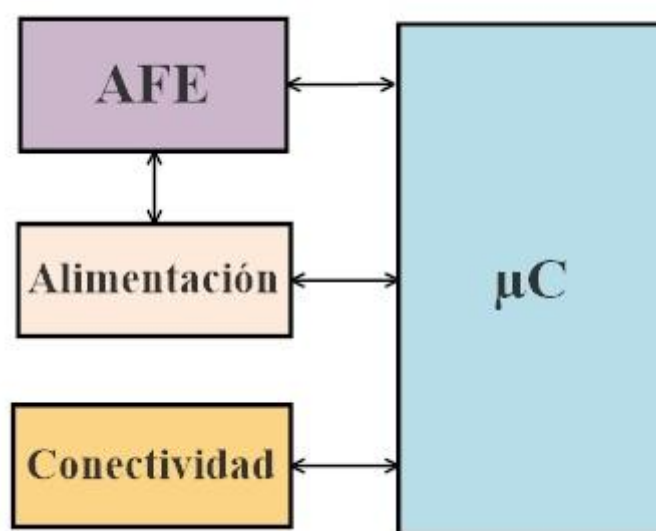


Figura 5.5. Diagrama de bloques general.

5.3.1.2 Tipos de ruido

Por último, cabe mencionar también que los componentes que escojamos deberán añadir el mínimo ruido posible, ya que la señal electromiográfica tiene una amplitud muy pequeña, por lo que se pretenderá maximizar la relación señal-ruido. Las principales fuentes de ruido que afectan a nuestra señal S-EMG serán:

- *Ruido inherente en los componentes electrónicos del equipo de adquisición.* Los componentes electrónicos generan ruido eléctrico con componentes desde 0Hz hasta miles de Hz. Como el ancho de banda de la señal EMG comparte parte de su propio espectro con el del ruido, éste no puede ser eliminado. Sin embargo, puede ser disminuido mediante la selección de componentes de calidad y mediante técnicas de diseño inteligentes.
- *Ruido eléctrico ambiental (de línea).* Es el ruido debido a la interferencia electromagnética, generada, entre otros, por transmisiones de radio y televisión, lámparas fluorescentes y líneas de alta tensión. La principal fuente de ruido de este tipo que va a afectar a nuestra señal EMG aparece en la componente de 60Hz y es debida a las fuentes de alimentación.
- *Ruido producido por movimiento.* Tendremos de dos tipos en nuestro dispositivo: el producido por la interfaz electrodo-piel y el producido por el movimiento de los cables de los electrodos. El rango de frecuencias de estas interferencias es de 0 a 20Hz.

5.3.2 Modelos del diagrama

Nos encontramos con varias formas, de las cuales se van a exponer dos, de realizar el diseño mediante el diagrama de bloques.

La diferencia entre ellas sería la interfaz AFE que se va a usar. En una utilizaríamos solamente un sensor S-EMG que trajera todos los circuitos integrados necesarios, y en la otra diseñaríamos cada etapa de forma individual. Esta última forma es mucho más personalizada, y gracias a las pruebas y a las diferentes configuraciones que tenga cada componente podremos llegar mejor al objetivo de nuestro dispositivo y cumplir las especificaciones de forma correcta.

5.3.2.1 Modelo 1: Con sensor S-EMG

Para este modelo, como ya hemos dicho, utilizaremos algún sensor S-EMG que nos recoja la señal de los electrodos y realice todo el procesamiento necesario para mostrarnos a su salida una señal digital con la que podamos trabajar. Tenemos varias opciones en el mercado que se nos mostrarán en el apartado 5.3.3.

La gran ventaja de usar este modelo es que es mucho más sencillo el montaje del dispositivo, y gracias al encapsulamiento tendremos todos los componentes necesarios en un espacio muy reducido, que es uno de los requerimientos que vamos buscando.

El diagrama sería el siguiente:

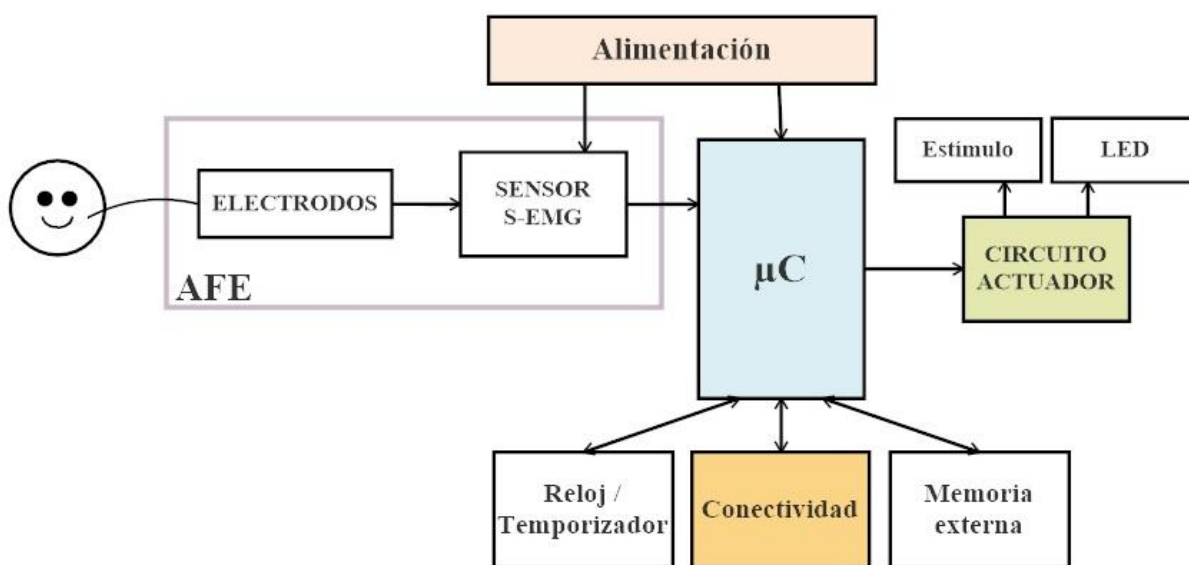


Figura 5.6. Diagrama de bloques del modelo 1 (con sensor S-EMG).

Como vemos, es un diagrama bastante sencillo.

Se ha realizado una correspondencia de colores con la figura 5.5., para que todas las partes queden perfectamente diferenciadas. Los bloques que nos aparecen son:

- Electrodo. Los electrodos estarán en contacto directo con el paciente y serán los encargados de recoger las señales que utilizaremos en los siguientes bloques.
- Sensor S-EMG. Será un sensor en el que todos los componentes necesarios para el tratamiento y procesamiento de la señal vengan encapsulados. Es necesario para que podamos trabajar con la señal posteriormente en el microcontrolador.
- μ C (Microcontrolador). Como ya se ha dicho antes, el microcontrolador será el encargado de ejecutar las funciones necesarias para el procesamiento de la señal medida en la etapa anterior
- Alimentación. Se proporcionará alimentación al sensor y al microcontrolador si fuera necesario.
- Reloj/Temporizador. Se usará el modo reloj o el modo temporizador cuando sea necesario. Por ejemplo, durante la calibración tenemos un temporizador de 3 segundos, y tanto en diagnóstico como en tratamiento deberemos medir el tiempo que el dispositivo está funcionando.
- Conectividad. Para conectarse con la aplicación móvil necesitará conexión inalámbrica (Wireless).
- Memoria externa. Será necesaria para almacenar los datos que vamos a utilizar para el volcado de datos.
- Circuito actuador. Este circuito será el que tenga toda la lógica para realizar la actuación necesaria hacia el paciente, que será de dos tipos: aplicando el estímulo para el tratamiento del bruxismo, o encendiendo el LED para la calibración del dispositivo. Son dos tipos de biofeedback que nuestro dispositivo va a realizar.

5.3.2.2 Modelo 2: Sin sensor S-EMG

Para este modelo no vamos a utilizar un sensor S-EMG directamente, sino que pondremos los bloques necesarios para que realice la misma función.

La ventaja de esto es, como ya hemos dicho, que nuestro dispositivo será mucho más personalizado y ajustable, ya que podremos tocar diferentes parámetros de cada uno de los bloques.

Se muestra el diagrama en la siguiente figura:

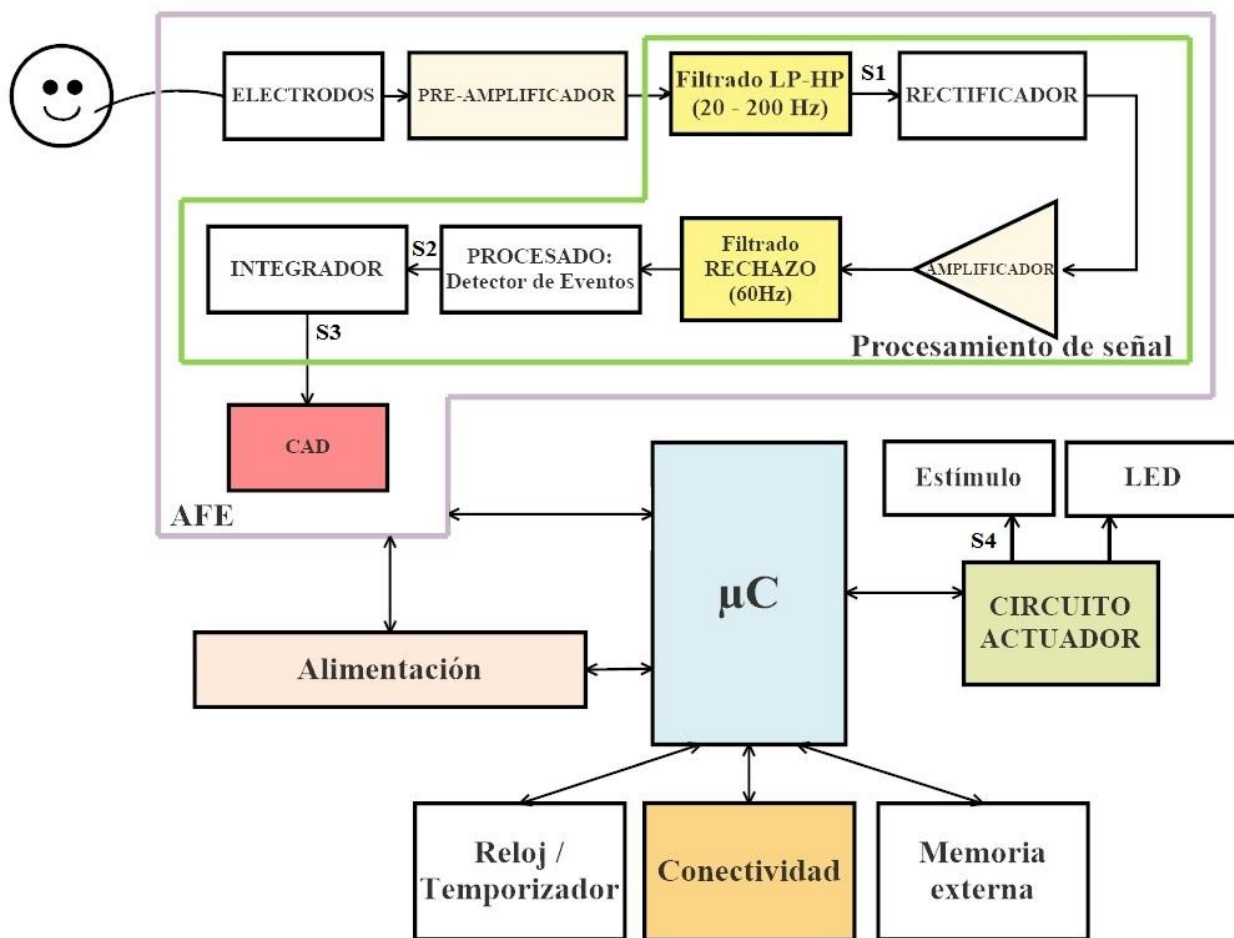


Figura 5.7. Diagrama de bloques del modelo 2 (sin sensor S-EMG).

Las únicas etapas que se diferencian con el anterior son las que están dentro del AFE, así que serán las que vamos a explicar.

Comienza al igual que antes recogiendo la señal con la que vamos a trabajar mediante los **electrodos**. Esta señal es del orden de $100 \mu\text{V}$, normalmente es de unos $300 \mu\text{V}$. Tiene un valor de amplitud muy bajo, y en el momento que aparezca ruido o se produzca algún artefacto como ruido ambiente o ruido de línea, se podrá realizar una falsa interpretación de los resultados. Por esta razón, antes de realizar ningún tipo de procesamiento a nuestra señal, tendremos que realizar una **pre-amplificación**. El pre-amplificador deberá ser lo suficientemente sensible como para detectar y amplificar las pequeñas señales, y también deberá discriminar los ruidos o artefactos de forma que trabajemos sólo con actividad electromiográfica. Queremos conseguir una señal del orden de 1V , por lo tanto, necesitaremos una amplificación bastante grande. Si con un solo amplificador no tuviéramos bastante para conseguir la señal del orden que deseemos, podríamos colocar varios en cascada. Podremos utilizar amplificadores de instrumentación o amplificadores operacionales.

Una vez realizada la pre-amplificación, debemos comenzar el **procesamiento de la señal** obtenida. Las operaciones a realizar son las siguientes:

- **Filtrado LP y HP.** El EMG está formado por la propia señal más ruido aditivo. Con el filtrado podemos eliminar las frecuencias que no nos interesen y en las que sepamos que vamos a tener solamente ruido. Nos interesa quedarnos con la banda de 20 a 200Hz , que es la banda de interés del S-EMG. Se recomienda utilizar un filtro Butterworth, ya que presenta un buen comportamiento tanto en magnitud como en fase, y tiene una banda pasante plana, que evita distorsiones en magnitud.

Las especificaciones de una señal EMG se encuentran en el Anexo I. También podría sustituirse el filtro LP y HP por un único filtrado BP, pero es preferible hacerlo en dos veces.

- **Rectificador.** La señal en bruto tiene componente tanto negativa como positiva, y su valor medio es

cero. El rectificador nos sirve para “voltar” el contenido negativo a través del eje cero, haciendo que toda la señal sea positiva. Esto nos va a servir para realizar el posterior tratamiento de la señal, ya que si será más fácil detectar eventos si toda la señal se encuentra en el eje positivo.

- **Amplificador.** Una vez que ya hemos filtrado y rectificado nuestra señal, se procede de nuevo a una amplificación de esta, que ya no tiene tanta componente de ruido. El objetivo de esta nueva amplificación es tener una señal que tenga una lectura más fácil. Es normal utilizar amplificadores operacionales para este caso. La ganancia dependerá del CAD que vamos a usar. Se indica más adelante.
- **Filtrado Rechazo.** Este filtro se encarga de rechazar una frecuencia determinada que esté interfiriendo en nuestro circuito. En este caso, la frecuencia que queremos rechazar es la de la componente en 60Hz, que es donde tenemos el ruido eléctrico ambiental (de línea) que describimos en el apartado 5.3.1.2.
- **Procesado: Detector de eventos.** En este bloque tendremos la lógica necesaria para realizar un algoritmo en el que cuando la señal supere el umbral definido, se mantenga con valor constante, y cuando sea inferior a ese umbral, se mantenga con valor 0. Esto nos va a servir para la etapa integradora. Podemos ver esto mejor en la Figura 5.8, donde se muestran las señales de salida de algunos de los bloques.
- **Integrador.** Calcula el área bajo la envolvente de la señal. Esta señal nos va a servir para el algoritmo que controle el estímulo a aplicar.

Cuando ya ha terminado el procesamiento inicial de nuestra señal para mejorar la calidad de ésta, vamos a pasarla por un **convertidor analógico-digital**. Será necesario para que el microprocesador pueda trabajar con la señal que hemos medido en todo el bloque AFE. Para este caso, tendremos dos alternativas: un CAD de baja resolución (que necesitará una ganancia del amplificador mayor), o un CAD de alta resolución (que tendrá una ganancia del amplificador menor).

Las señales de salida de algunos de los bloques que se han indicado en la Figura 5.5 deben ser de la siguiente forma:

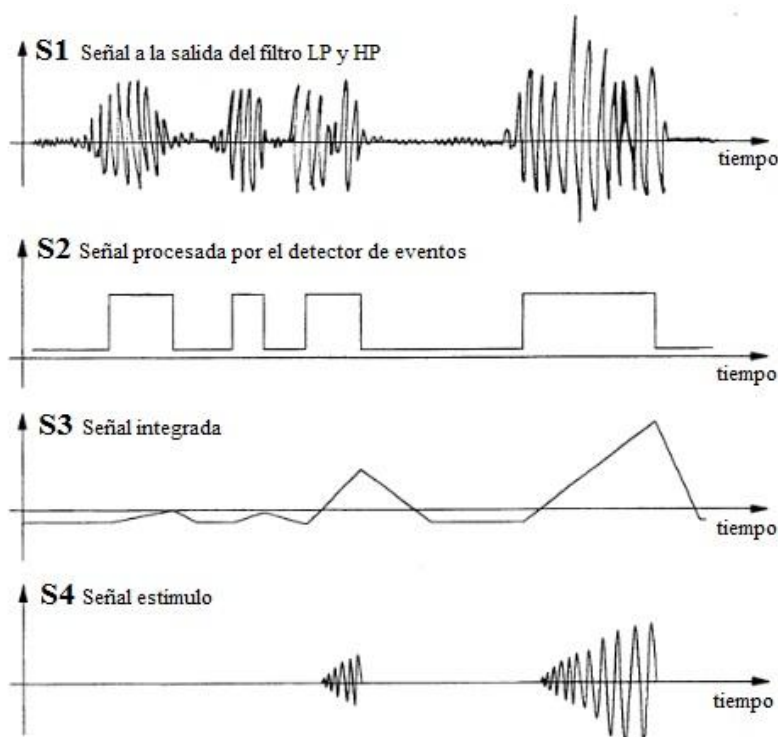


Figura 5.8. Señales de salida de algunos bloques.

5.3.2.3 Comparativa de los dos modelos

Vamos a realizar una comparativa de los dos modelos expuestos anteriormente. Las características que vamos a comparar son:

- Número de bloques.
- Ajuste del dispositivo. Si podemos realizar un ajuste mayor o un ajuste menor para adaptarlo a nuestras necesidades.
- Complejidad del montaje. Cómo de difícil sería realizar el montaje del dispositivo.
- Exactitud. Cuál tendrá más exactitud a la hora del diagnóstico o tratamiento.
- Encapsulado.

Como la única diferencia entre ambos modelos es el AFE, la comparativa será prácticamente de este bloque.

	Nº bloques	Ajuste dispositivo	Complejidad montaje	Exactitud	Encapsulado
Modelo 1	↓	↑	↑	↑	↑
Modelo 2	↑↑	↑↑↑	↑↑	↑↑	↓

Tabla 5.1. Comparativa de modelos para el diagrama de bloques.

5.3.3 Alternativas a cada componente

En este apartado vamos a ver diferentes alternativas de las que podemos disponer para cada uno de los componentes anteriormente descritos.

Utilizaremos tres criterios de selección para cada uno de los expuestos:

- En primer lugar que cumplan los requerimientos
- Que tenga dimensiones mínimas.
- Que sea de baja tensión.

5.3.3.1 Electrodo

Los electrodos están encargados de convertir las Corrientes iónicas del organismo, como las producidas en el caso de biopotenciales, en corrientes electrónicas. Con estas corrientes electrónicas son con las que nosotros podremos trabajar.

Tenemos varios tipos de electrodos, entre los que vamos a destacar dos solamente:

- Electrodos desechables. Estos electrodos normalmente contienen un gel conductor que facilita la adherencia a la piel. Tienen la ventaja de que son muy baratos y se pueden obtener en grandes cantidades.

Figura 5.12. Electrodo reusable en disco con pin.

Al igual que el caso anterior, tiene 9mm de diámetro, y en lugar de tener un agujero en el centro, dispone de un pin al que podremos conectarle los cables o que podremos clavar en alguna placa de pruebas. El cable también tiene 24 pulgadas de largo, y su precio es de 12\$.

También serían necesarios dos electrodos de este tipo.

- TPG Series – Reusable Ground Electrodes.



Figura 5.13. Electrodo de tierra reusable cuadrado.

Este electrodo sería usado como referencia, y su precio es de 24\$.

- EVR Series – Reusable Ground Electrodes.



Figura 5.14. Electrodo de tierra reusable circular.

Será igual que el anterior, solo que su forma es circular, y su precio es de 16\$.

5.3.3.2 Sensores EMG

Se han encontrado varios sensores que vienen con todo integrado, uno de ellos incluso trae los electrodos directamente.

Ambos son de la empresa *Advancer Technologies*, y se muestran a continuación.

- Muscle Sensor V3.

Este sensor mide la actividad eléctrica filtrándola y rectificándola a continuación. Realiza todos los bloques que se definen en el modelo 2 de nuestro diagrama de bloques. Necesita una tensión de alimentación mínima de $\pm 3.5V$.

Su precio es de 34.99\$.

- MyoWare™ Muscle Sensor.

Realiza la misma función que el anterior, solo que es una versión nueva y mejorada, ya que la alimentación no tiene que ser positiva y negativa. La tensión de alimentación puede ir de 3.1V a 5.9V.

El encapsulado es más pequeño y lleva incorporado directamente los electrodos.

Su precio es de 37.99\$.



Figura 5.15. Sensores S-EMG.

Se incluye el datasheet de ambos en el Anexo II.

5.3.3.3 Pre-amplificador

Los amplificadores operacionales permiten rechazar gran parte del ruido externo. Los amplificadores de instrumentación cumplen con estas características, y además, están especialmente contruidos para propósitos de instrumentación médica. A su vez, permite variar el factor de amplificación con la modificación de un juego de resistencias. Por esta razón, el amplificador que utilizaremos justo después de los electrodos será un amplificador de instrumentación.

Como ya dijimos, la señal que se mide con un electromiograma de superficie es del orden de los $100\mu\text{V}$, y para su correcto procesamiento, necesitamos que esta señal tenga orden de 1V . Por lo tanto, necesitaremos una ganancia mínima de 10000V/V . Por lo tanto, con esta característica, hemos visto dos amplificadores de instrumentación solamente en la página de *Texas Instruments*.

- INA 126.
- INA 122.

Se muestra una tabla comparativa con las características en las que se distinguen.

	Ganancia (V/V)	Vs Min / Max (V)	Ruido a 1kHz (nV/rt(Hz))	BW a G=100 (kHz)	Precio (\$)
INA 126	5 a 10000	2.7 - 36	35	9	1.18
INA 122	5 a 10000	2.2 - 36	60	5	2.45

Tabla 5.2. Comparativa de pre-amplificador de instrumentación.

Escogeremos el INA 126 ya que introduce menos ruido.

5.3.3.4 Filtrado LP y HP

Como ya se expuso anteriormente, es recomendable que sea Butterworth, ya que la banda de paso es máximamente plana. Esto nos interesa, ya que nuestra señal tiene muy baja amplitud y no conviene meterle distorsión adicional, ya que tendría un efecto muy grande.

Vamos a filtrar la banda que va de 20Hz a 200Hz .

Se ha realizado una búsqueda en la página de la empresa *Linear Technology*, usando las especificaciones que hemos detallado.

Para el filtro paso de baja, hemos encontrado solamente uno que se adecue a nuestras características, ya que la frecuencia de corte es muy restrictiva al ser tan pequeña, e incluso el elegido no llega a cumplirla del todo pero se aproxima: "LTC1563 – Active RC, 4th order lowpass filter family". Sus características más importantes son:

- f_c (frecuencia de corte): 0.256kHz a 256kHz .
- Butterworth de orden 4.
- Opera a 3.3V .
- Precio: $2.35\$$.

Mencionar que la mínima frecuencia hasta la que se puede filtrar es 256Hz . Esto no nos va a dar problema, ya que el S-EMG tiene valores en la banda desde 0 hasta 500Hz , pero se suele tomar como banda de interés hasta 200Hz . No es un valor excesivo, así que nos vale.

Para el filtro paso de alta necesitamos realizar un diseño con los componentes que vayamos a necesitar y construirlo con algún amplificador operacional y otros componentes, ya que normalmente las empresas no suelen venderlo. Para el diseño de este filtro, existen programas específicos como por ejemplo LTspice®. Es una herramienta de simulación gratis, rápida y fácil de utilizar en la que se introducen las especificaciones que deseemos y, a continuación, nos propone un circuito que realiza ese filtro.

5.3.3.5 Rectificador

De *Texas Instruments* también hemos encontrado varios circuitos rectificadores, de los cuales hemos seleccionado el que tiene dimensiones más pequeñas: “595-UC3610N”.

Entre sus características tenemos:

- Tensión delantera: 1.3V.
- Dimensiones: 9.81 x 6.35 x 4.57 mm.
- Precio: 7.03€.

5.3.3.6 Filtro Rechazo a 60Hz

Para este filtro, utilizaremos un filtro notch. Se caracteriza por rechazar una frecuencia determinada que esté interfiriendo en un circuito. En nuestro caso la frecuencia es 60Hz, que es en la que se provoca el ruido de línea generado por la línea de potencia. Nuestro circuito se ve expuesto a ruido ambiental proveniente de las lámparas fluorescentes y otros dispositivos que emiten ruido a través de ondas de 60Hz. El filtro notch se encargará de rechazar exclusivamente el ruido a 60Hz para entregar a la salida una señal completamente pura de distorsiones.

En la página *Linear Technology* se nos propone un diseño para este filtro: “LTC6078 60Hz Notch Filter”. El LTC6078 se refiere a un amplificador operacional. Este diseño se ha realizado con el programa LTspice® mencionado en el punto 5.3.3.4. También se da la opción de descargar el programa en la misma página. El diseño que se propone es el siguiente:

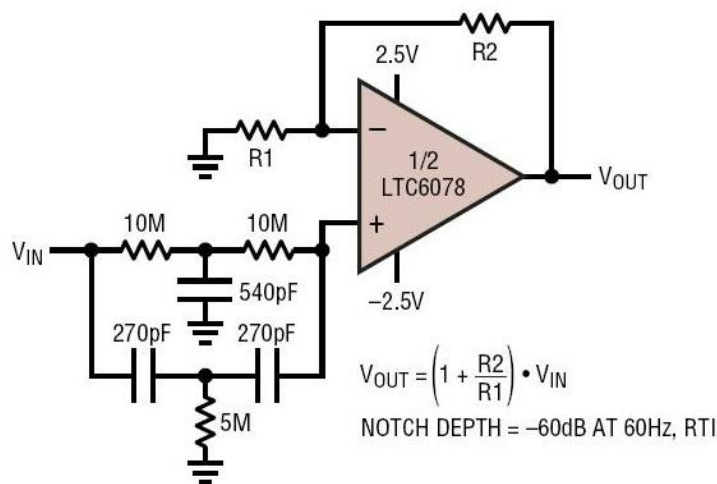


Figura 5.16. Filtro Notch.

Se recomienda utilizar amplificadores de alta impedancia de entrada. Los condensadores suelen ser de muy bajo valor, las resistencias de alto valor y se pueden utilizar a frecuencias bajas.

Entre las características del amplificador, la que más nos va a interesar es la tensión de operación, que va de 2.7 a 5.5V.

5.3.3.7 Amplificador y CAD

El caso del amplificador y del convertidor analógico digital lo vamos a ver juntos, ya que ambos están relacionados. La ganancia del amplificador depende de la resolución del CAD.

- Si elegimos un CAD de baja resolución (16 bit), la señal necesitará una ganancia mayor (normalmente 100x o 200x) para alcanzar la resolución necesaria.
- Si elegimos un CAD de alta resolución (24 bit), la señal necesitará una ganancia menor (4x o 5x).

Tener un amplificador con una ganancia mayor puede hacer que nuestra señal amplifique mucho el ruido y no se distinga bien el ruido de la información, por eso es preferible elegir un CAD que tenga una mejor resolución para no “ensuciar” la señal con más ruido.

Vamos a realizar una búsqueda por lo tanto de amplificadores con ganancia 4x-5x, y CAD de alta resolución (24 bit). El fabricante elegido en este caso es *Texas Instrument* ya que dispone de mucha variedad.

Para el caso del amplificador, buscamos un amplificador operacional que cumpla esas condiciones de ganancia, sea preciso, tenga bajo ruido y no consuma mucha potencia.

Hemos encontrado 2 amplificadores con estas características, los cuales tienen las mismas especificaciones y sólo cambia el tiempo de establecimiento en ellos y el precio:

- OPA376. Settling time = 1600ns. Precio = 0.65\$.
- OPA4376. Settling time = 2000ns. Precio = 1.40\$.

El tiempo de establecimiento nos conviene que sea lo más pequeño posible para que el amplificador tarde menos en reaccionar, por lo tanto, elegiremos el OPA376, que tiene una tensión de alimentación de 2.2V a 5.5V.

Para el CAD, el requisito principal es que sea de alta resolución, es decir, de 24 bit. Hemos encontrado dos también, ambos son diferenciales, pero uno de ellos nos proporciona una única salida. Este es el que nos interesa para no tener más cables en el interior del dispositivo. Es el ADS1258, y entre sus especificaciones están:

- 16 canales multiplexados con salida single.
- Bajo ruido.
- 24 bit.
- 1.8k a 23.7k muestreos por segundo por canal.
- Tensión analógica: 5V.
- Precio. 16.50\$.

5.3.3.8 Microcontrolador

El microcontrolador es un circuito integrado programable que dispone de una unidad de control y otra unidad aritmético-lógica que nos va a servir para realizar los cálculos pertinentes.

La entrada de este microcontrolador será, entre otras, la señal obtenida y procesada del S-EMG. En microcontrolador tendrá las siguientes funciones:

- Realizar las operaciones necesarias con la señal S-EMG para darle órdenes al circuito actuador.
- Acceder a memoria externa y modificar los datos que sean necesarios en ella. Dar órdenes de realizar el volcado.
- Realizar las funciones de temporización que sean necesarias.

A la hora de elegir nuestro microcontrolador debemos tener en cuenta lo siguiente:

- Dimensiones. Como llevamos diciendo todo el proyecto, necesitamos que nuestro dispositivo sea lo más pequeño posible. De esta forma, el microcontrolador elegido deberá tener el tamaño más reducido posible y que sea capaz de realizar todas las funciones necesarias.
- Número de pines del microcontrolador. Mirando la figura 5.7. en la que tenemos el modelo del

diagrama de bloques, podemos ver que necesitaremos 6 entradas (y 6 salidas digitales).

Tenemos muchas familias de microcontroladores actualmente: PIC®, Arduino®, Raspberry®, etc.

En este proyecto se propone el uso del microcontrolador Arduino, ya que dispone de muchos módulos que podemos utilizar para sustituir alguno de los bloques, y es un microcontrolador con el que muchos de los programadores se encuentran habituados. Además, tiene varias propuestas de ellos que se pueden consultar en la página oficial de Arduino.

Estos microcontroladores tienen la característica de que la mayoría de ellos dispone de una conexión microUSB para que el volcado del programa sea de forma más fácil. Esto, en nuestro caso, es un inconveniente, ya que no queremos que el dispositivo necesite un cable exterior a otro periférico. Por lo tanto, la principal restricción que se ha realizado a la hora de elegir el micro es que no disponga de este conector. Arduino dispone de algunos microcontroladores sin conexión microUSB.

Otra de las restricciones, como ya hemos dicho, es el tamaño, y hemos tenido en cuenta que no tenga pines sobresalientes para que tenga una adaptación más sencilla. Así que se proponen los que se muestran a continuación, junto con sus características que tendremos en cuenta:

	Tamaño (mm)	Analog Input Pins	Digital I/O Pins	Voltaje de operación	Memoria FLASH	SRAM	EEPROM	¿Tiene microUSB?	Precio
Arduino Micro	48x18	12	20	5V	32kB	2.5kB	1kB	Sí	16€
Arduino Mini 05	30x18	8	14	5V	32kB	2kB	1kB	No	12€
Arduino Pro Mini	33x17.8	6	14	3.3V o 5V (seleccionar al comprar)	32Kb	2kB	1kB	No	10€

Tabla 5.3. Comparativa microcontroladores Arduino.

Esta última se ha creado por una asociación entre *Arduino* y *Sparkfun*.

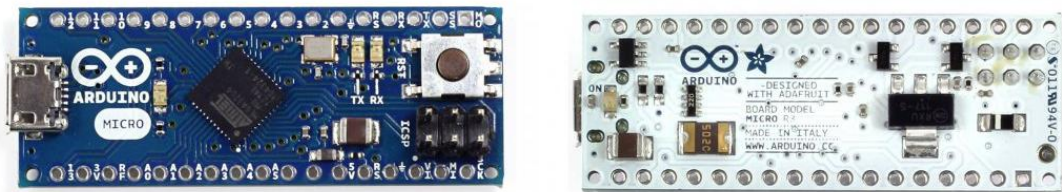


Figura 5.17. Microcontrolador Arduino Micro.

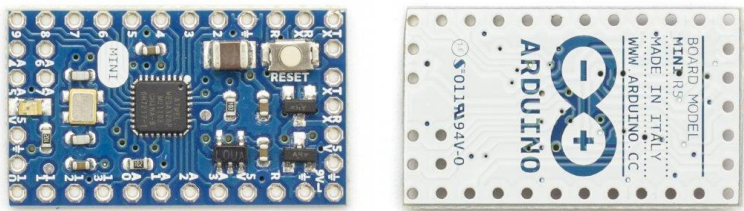


Figura 5.18. Microcontrolador Arduino Mini 05

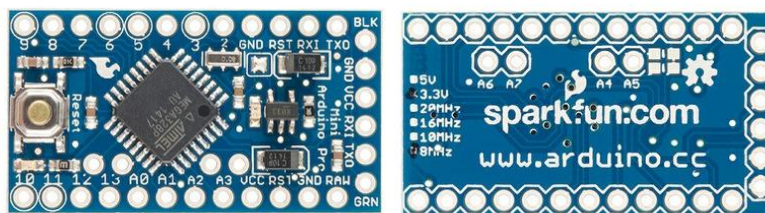


Figura 5.19. Microcontrolador Arduino Pro Mini.

Como vemos en la comparativa, hemos representado la que tiene tamaño más reducido. Además, se ha tenido en cuenta si tenía conexión microUSB, y se puede ver que de ellas, las que no la tiene son “Arduino Mini 05” y “Arduino Pro Mini”. Nos plantearemos la decisión entre estas dos.

Vemos que ambas tienen las mismas características técnicas, lo único que cambia es su dimensión (mínimamente), el número de pines analógicos (que no nos afecta) y el voltaje de operación, que en el último caso es más bajo.

Por lo tanto, escogeremos “Arduino Pro Mini”, no sólo porque sus dimensiones son pequeñas, sino por no tener conexión microUSB, porque con las entradas y salidas digitales de las que disponemos tenemos suficiente para nuestro propósito y por tener un voltaje de operación más pequeño.

Mencionar también que este controlador dispone de entradas analógicas, por lo tanto podría no ser necesario utilizar el CAD, ya que el propio microcontrolador se encarga de realizar esta función.

Todas estas características se han extraído de la página oficial de *Arduino*.

5.3.3.9 Estímulo

El estímulo, como ya se dijo, será una señal que se va a aplicar como respuesta a un episodio de bruxismo. Esta señal se aplicará al paciente cuando se produzca dicho episodio e intentará frenarlo. Entre las características principales que debe cumplir están:

- Debe ser agradable al paciente, y dentro de lo posible, se intentará que no se despierte en el caso en que se use de noche.
- Debe ser eficaz. Tendrá que cesar el episodio bruxista, o al menos, disminuir su efecto.

Hay varios tipos de estímulo que se pueden utilizar para esta función:

- Sonido. Es el más común entre los dispositivos que existen tanto en el mercado como en las patentes. Cuando el paciente presenta un episodio de bruxismo, se le aplica un leve pitido que alertará al paciente de ello, y de esta forma, se frenará.
- Descarga eléctrica. Otro estímulo muy común es realizar una pequeña descarga eléctrica. Normalmente se suele aplicar el método TENS para esto.
- Líquido aversivo. Sólo se ha encontrado este tipo de estímulo en una patente. Se coloca un líquido dentro de unas cápsulas que se introducen dentro de la boca. Están sujetas a una férula dental y cuando el paciente aprieta más los dientes, la cápsula explota y se desprende. Este líquido debe ser desagradable al paciente de forma que éste se despierta.
- Vibración. Es una alternativa que se propone en este proyecto. No se ha encontrado ningún dispositivo que utilice la vibración como estímulo. Pensamos que es una buena opción, ya que no realiza ningún sonido, por lo tanto no se corre el riesgo de que el paciente se despierte, ni es tan desagradable como la descarga eléctrica o como el líquido aversivo.

La potencia del estímulo debe ser lo suficientemente grande como para que el paciente sea alertado del episodio, pero lo suficientemente pequeña como para no despertarlo en caso de que esté durmiendo. Si el episodio no se frena una vez aplicado el estímulo, es repetirá de nuevo hasta que éste pare.

Se ha encontrado un vibrador en la página de *Precision MicrodiversTM*, cuyo número de modelo es 312-101 y un precio de 5.83€. Tiene un tamaño de 12mm, con lo que podríamos colocar 2 vibradores en nuestro

dispositivo, uno en cada extremo, para que pueda ser más eficiente.



Figura 5.20. Vibrador.

5.3.3.10 Alimentación

Se debe realizar un estudio sobre la alimentación necesaria para nuestro dispositivo. Comenzamos exponiendo la tensión que necesita cada uno de los componentes explicados en este punto.

Componente	Voltaje necesario (V)
Sensor S-EMG	3.1 – 5.9
Pre-amplificador	2.7 – 36
Filtro LP – HP	3.3
Rectificador	1.3
Filtro rechazo de banda	2.7 – 5.5
Amplificador	2.2 – 5.5
CAD	5
Microcontrolador	3.3 – 5

Tabla 5.4. Voltaje de cada componente.

Como buscamos que las dimensiones sean lo más pequeñas posibles, se utilizarán pilas de botón. En el caso de que necesitemos más de una, se añadirán en serie. La carcasa interior deberá tener fácil apertura para que el paciente pueda cambiarlas cuando lo necesite.

5.3.3.11 Conectividad (Wireless)

Como ya se dijo anteriormente, se va a necesitar una tecnología inalámbrica, de corto alcance y bajo coste que facilite la comunicación entre dispositivos.

Esta conexión se utilizará para que el dispositivo se comuniquen con un periférico al que le envíe datos para que los pase a la aplicación móvil que se diseñe en el dispositivo móvil.

Vamos a plantearnos dos tecnologías inalámbricas de corto alcance y bajo coste: Zigbee y Bluetooth. Compararemos sus características en una tabla.

Standard	Bluetooth 2.0	Zigbee
Especificación del IEEE	802.15.1	802.15.4
Banda de frecuencias	2.4GHz	868MHz – 2.4GHz
Tasa máxima de señal	3Mb/s	250kb/s
Distancia de transmisión	5-10m	100m
Protección de datos	16 – bit CRC	32 – bit CRC
Autenticación	Conexión entre dispositivos mediante clave secreta	WPA2 (802.11i)
Ancho de banda del canal	1MHz	22MHz

Tabla 5.5. Comparativa Zigbee y Bluetooth.

Debido a las velocidades de cada uno, uno es más apropiado que el otro para ciertas cosas. Por ejemplo, mientras que Bluetooth se usa para aplicaciones como los teléfonos móviles y la informática casera, la velocidad de ZigBee se hace insuficiente para estas tareas, desviándolo a usos tales como la domótica, los productos dependientes de la batería, los sensores médicos, y en artículos de juguetería, en los cuales la transferencia de datos es menor.

Vamos a realizar una estimación de la tasa de datos que va a transmitir nuestro dispositivo en el peor caso.

Partiremos de la base de que una señal EMG de superficie tiene un ancho de banda de 0 a 500Hz, aunque la banda de interés sea de 20 a 200Hz. Hasta los 500Hz todavía tenemos información, y a partir de ahí, tendremos solamente ruido. El Teorema de Nyquist nos dice que la frecuencia de muestreo de una señal debe ser mínimo dos veces el ancho de banda, por lo tanto, en nuestro caso, tendremos que muestrear a 1000 muestras/segundo.

Una muestra normalmente tiene 8 o 10 bits, y como vamos a ponernos en el peor caso, es decir, el caso en el que sea mayor, tomaremos 10 bits.

Con toda esta información, la tasa del EMG con estos datos será:

$$Tasa\ EMG = 10 \frac{bits}{muestra} \cdot 1000 \frac{muestras}{segundo} = 10000 \frac{bits}{segundo} \quad Ecuación\ 4$$

Vemos, por lo tanto, que la tecnología ZigBee para transmitir los datos en tiempo real se nos queda insuficiente, por lo tanto, escogeremos directamente la tecnología Bluetooth.

Actualmente existe hasta la versión 4.0 de Bluetooth, que tiene una tasa de transmisión mucho más alta.

Sin embargo, hemos escogido un dispositivo de la versión 2.0 (que es la que se muestra en la tabla comparativa), ya que los 3Mb/s nos son más que suficientes. Además, tiene un alcance de 5 a 10 metros con el que también tenemos de sobra.

El dispositivo que hemos encontrado es del vendedor *Texas Instrument* y es el LMX9838, cuyas características que nos interesan son:

- Dimensiones. 10mm x 17mm x 2mm
- Precio. 38.39\$.



Figura 5.21. Bluetooth LMX9838.

5.3.3.12 Memoria externa

Para elegir la memoria, tenemos que tener en cuenta dos cosas:

- El tipo de almacenamiento que queremos.
- El tamaño de la memoria necesaria para almacenar todos los datos.

Comenzaremos realizando el cálculo del tamaño de nuestra memoria. Del apartado anterior tenemos la tasa de transmisión de datos, resultado que aparece en la *Ecuación 4*. Simplemente multiplicando este valor por el número de segundos que durará el proceso realizado por nuestro dispositivo, obtendremos la cantidad de datos. Tomando un máximo de 8 horas de uso de nuestro dispositivo, nos queda:

$$\text{Tamaño memoria} = 10000 \frac{\text{bits}}{\text{segundo}} \cdot 8 \text{ horas} \cdot \frac{3600 \text{ segundos}}{1 \text{ hora}} = 288 \text{ Mbits} \approx 34.33 \text{ MBytes}$$

Ecuación 5

Según esto, necesitaremos una memoria de 64MB, ya que no es posible obtener una con el tamaño exacto, y de todas formas, con los 64MB nos aseguramos de que tendremos espacio suficiente para almacenar varias sesiones sin tener que borrar.

A continuación, veremos los tipos de memorias que existen y algunas de sus características:

Tipo	Operaciones	Volátil	Aplicación típica
SRAM	Lectura / Escritura	Sí	Caché
DRAM	Lectura / Escritura	Sí	Memoria principal
ROM	Sólo lectura	No	Equipos
PROM	Sólo lectura	No	Equipos
EPROM	Lectura	No	Prototipos
Flash	Lectura / Escritura	No	Cámara digital

Tabla 5.6. Tipos de memoria.

Una memoria es volátil si pierde su contenido cuando se le quita a esta la alimentación.

Por lo tanto, necesitamos una memoria que sea tanto de lectura como de escritura, y que no sea volátil. La única que cumple estas características es la memoria FLASH.

Se ha pensado que por la especificación de las dimensiones se puede utilizar una tarjeta microSD con su adaptador. Esta es una memoria FLASH que tiene un tamaño muy reducido (15 x 11 x 1 mm).

Debido a que la tecnología en cuanto a memorias ha tenido un gran avance, una memoria de 64MB por ejemplo no está a la venta, ya que están obsoletas. Por lo tanto, buscaremos la memoria más pequeña que

encontremos. Actualmente, la más pequeña que cumple las especificaciones de dimensión es la de 1GB, que la hemos encontrado en *Amazon*, por un precio de 5.09€.

5.4. Conclusiones del diseño

Se ha concluido el punto en el que se explican las especificaciones técnicas que debe tener nuestro dispositivo.

Se han explicado las especificaciones que debe tener, y cumpliendo estas, se han propuesto dos modelos: un primer modelo que utiliza un sensor para obtener la señal de información y un segundo modelo que no lo utiliza pero que es mucho más personalizable.

Se realizará la elección del segundo modelo para que nuestro modelo sea mucho más personalizable, teniendo en cuenta que sería mucho más sencillo escoger un sensor S-EMG que realizase ese trabajo por nosotros. Como estamos ante un diseño del dispositivo es más interesante el modelo 2, pero si tuviéramos que plantearnos su construcción, sería más fácil utilizar el modelo 1.

Por último, después de plantear los diferentes modelos posibles, se han estudiado cada una de sus etapas, proponiendo distintas alternativas para cada uno de sus componentes y comparándolas entre ellas.

En el siguiente apartado se realizará una elección definitiva de cada una de ellas.

6 ELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN Y POSIBLES PRUEBAS

En este capítulo apartado se va a realizar la propuesta final del dispositivo que vamos a elegir. Para ello, nos basaremos en los datos recogidos en el punto anterior. También se van a proponer diferentes pruebas que podrían ayudar a nuestro dispositivo a mejorar considerablemente y a solucionar los distintos problemas que se puedan ocasionar.

6.1. Elección de la solución

Como ya hemos dicho, se explica en este apartado la elección final de la solución, teniendo en cuenta el estudio que hemos realizado en el apartado anterior.

Se ha elegido finalmente utilizar el modelo 2 del apartado anterior, del que se adjunta la figura 5.7. para recordar.

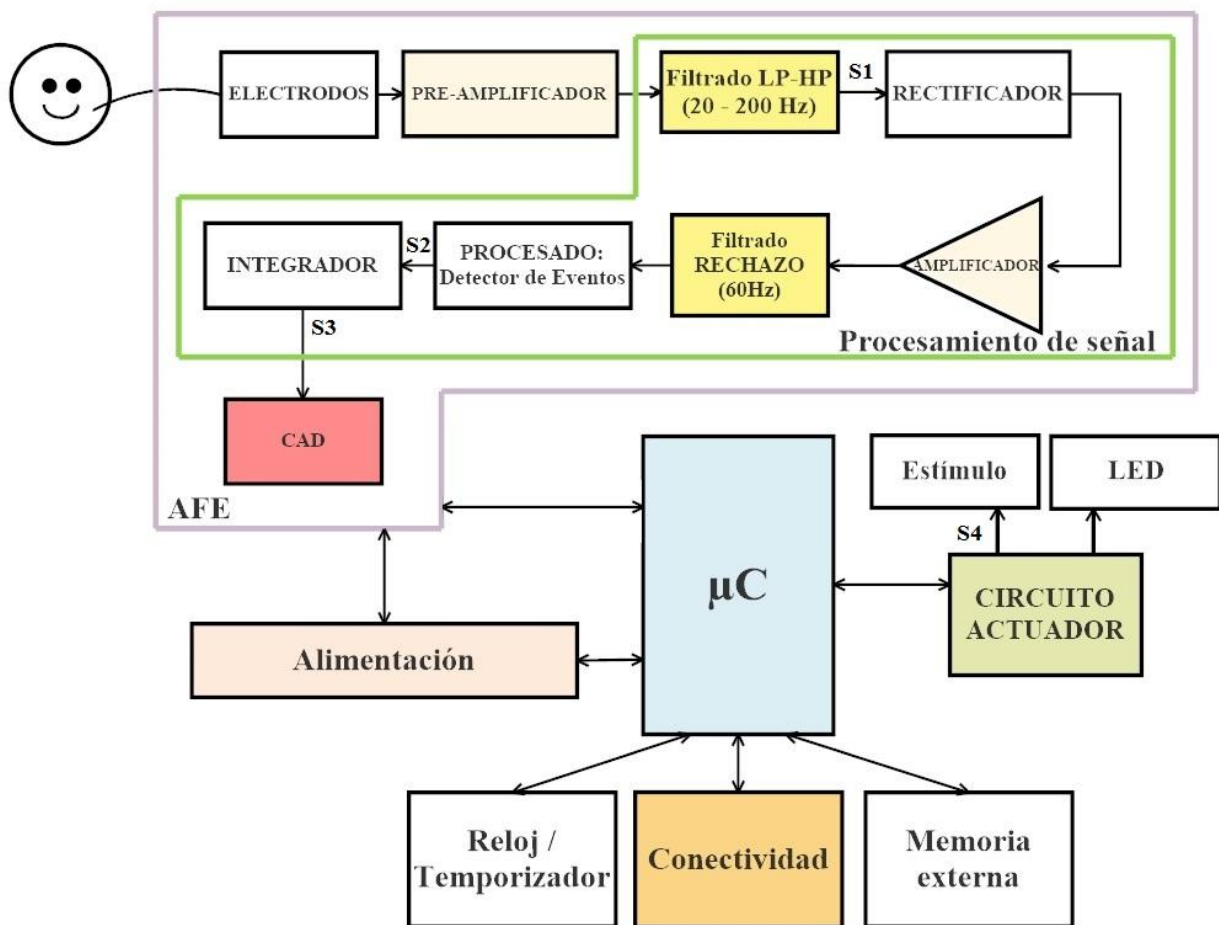


Figura 6.1. Modelo elegido finalmente.

Como se dijo anteriormente, se elige este modelo ya que en este proyecto se va a realizar un diseño y no el montaje, y tiene una mayor personalización. Sin embargo, si se fuese a realizar el montaje, se recomienda el uso de alguno de los sensores S-EMG propuestos en el apartado anterior, ya que se realizaría esta labor de una forma mucho más fácil.

A continuación, se añade un resumen de cada uno de los componentes elegidos, divididos en apartados según la parte del circuito a la que pertenecen.

6.1.1 AFE

Los dispositivos que se encuentran en el AFE (Analog Front End) son los que se encuentran en contacto directo con el usuario. Se realizó un estudio en el punto anterior, y ahora vamos a elegir los definitivos:

- Electrodos. Vamos a seleccionar 3 electrodos de la tienda *electrodestore.com*, de los cuales uno de ellos será de referencia (tierra). Se escogerán:
 - 2 electrodos de la serie SSF. Se utilizan estos ya que disponen de un pin al que podremos conectarle los cables o que podremos clavar en alguna placa de pruebas, es decir, puede ser más fácil de utilizar.
 - 1 de la serie EVR. Se ha elegido este simplemente por diseño, ya que es redondo, para que tenga la misma forma que los otros dos electrodos.

Se colocarán los 3 electrodos igualmente espaciados en la superficie en la que hacer contacto con la piel. Como el electrodo que hace de referencia tiene que estar cerca de algún hueso, se ha decidido colocarlo en la parte externa superior, para que haga mejor contacto. Los otros dos, se colocarán uno en el centro y el otro en el extremo inferior.

- Pre-amplificador. Se explicó en el apartado anterior que para el pre-amplificador necesitamos una ganancia de 10000V/V. Elegimos el INA 126 de *Texas Instruments* ya que añade menos ruido al circuito completo.
- Filtro LP. Se ha elegido el filtro LTC1563 de *Linear Technology*, que permite realizar un corte de frecuencias de 0.256kHz a 256kHz. En nuestro caso, elegiríamos la frecuencia de corte más baja, que es a 0.256kHz, ya que se quiere realizar un filtrado en la banda de los 20 a los 200Hz. Es un filtro Butterworth (banda de paso máximamente plana) de orden 4. Mencionar que para el filtro HP, se debe realizar el diseño mediante componentes (amplificador, resistencias, etc.)
- Rectificador. Se ha elegido el 595-UC3610N de *Texas Instruments* por tener unas dimensiones lo más pequeñas posibles.
- Filtro Rechazo. Para este filtro se utilizará el modelo propuesto por *Linear Technology*, el LTC6078. Este diseño debe construirse al igual que el filtro HP con componentes.
- Amplificador. Elegimos el OPA376 de *Texas Instruments* ya que, de los de las especificaciones que necesitamos, es el que tiene un tiempo de establecimiento menor. Su ganancia debe ser fijada a 4x o 5x.
- CAD. Se ha elegido el ADS1258 de *Texas Instruments*, un CAD de alta resolución.

6.1.2 Microcontrolador

Se explicó que la elección fue el “Arduino Pro Mini”, no sólo porque sus dimensiones son pequeñas, sino por no tener conexión microUSB, porque con las entradas y salidas digitales de las que disponemos tenemos suficiente para nuestro propósito y por tener un voltaje de operación más pequeño.

6.1.3 Otras elecciones de hardware

En este apartado se explica la elección que se ha realizado para los otros bloques externos al microcontrolador.

- Estímulo. Se indicó que se va a utilizar como estímulo un vibrador. Seleccionamos el modelo 312-101 de *Precision MicrodivesTM*. Tiene un tamaño muy reducido, y utilizaremos 2 de ellos, uno en cada extremo.
- Alimentación. X PILAS DE BOTÓN DE X VOLTIOS.
- Conectividad. Como método de transferencia inalámbrica, utilizaremos el dispositivo Bluetooth 2.0

LMX9838 de *Texas Instrument*, ya que cumple las especificaciones tanto de alcance como de tasa de transmisión de datos.

- Memoria externa. Se ha elegido una memoria FLASH de 1GB de *Amazon*. Con una memoria de 64MB nos habría valido, pero el problema es que están obsoletas, es muy difícil encontrarlas, y además su tamaño es algo mayor que las nuevas memorias. Por lo tanto, se ha considerado que esta era la mejor opción. Necesitaremos también un adaptador para leer la memoria dentro del dispositivo.

6.1.4 Esquema de diseño

Se adjunta el diseño final de cómo quedaría nuestro dispositivo, tanto en el exterior como en el interior. En el exterior se muestra la parte que hace contacto directo con la piel y la que no. Mencionar que en el interior no se han puesto todos los componentes, solo los más relevantes.

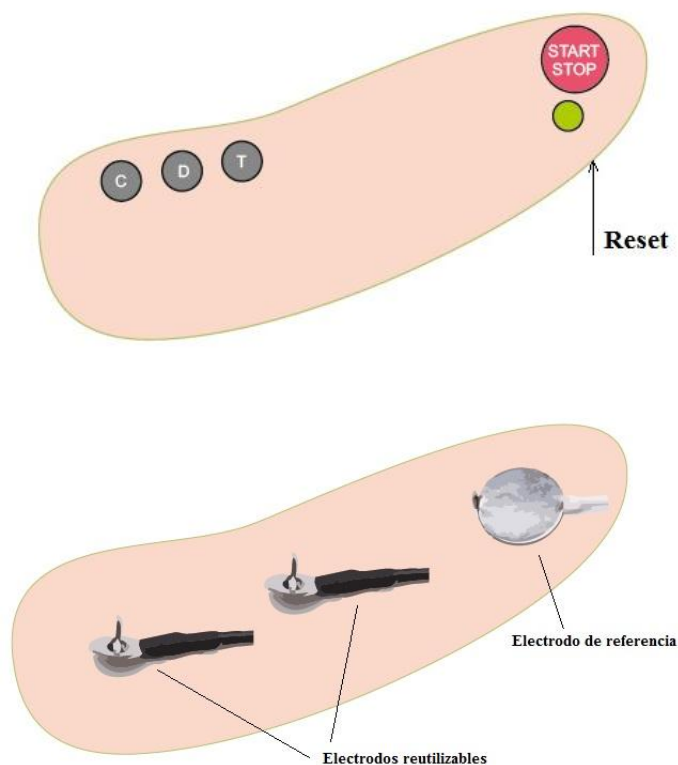


Figura 6.2. Detalle del diseño del dispositivo. Arriba: parte exterior. Abajo: Parte interior.

La carcasa interior deberá tener algún tipo de adhesivo para que el dispositivo permanezca pegado a la piel. Este adhesivo podría ser un tipo de pegatinas que se adhieran a la piel y que sean desechables, de forma que en cada sesión que vayamos a utilizar el dispositivo tengamos que usar unas pegatinas nuevas. Por lo tanto, deberán tener material adhesivo a ambos lados de la pegatina, uno para la cara, y otro para el dispositivo.

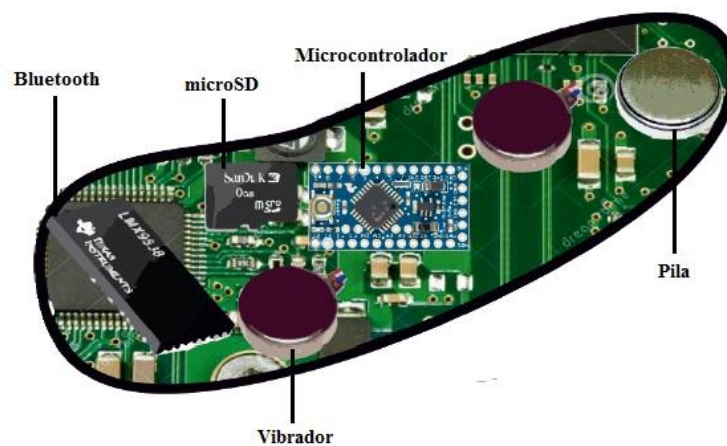


Figura 6.3. Detalle del dispositivo en el interior.

Podemos observar en la figura que en la parte exterior que da a la piel, se han situado los electrodos fuera del dispositivo, de forma que tendremos contacto directo con la piel. Se podrían situar en el interior y usar algunos textiles inteligentes que existen en el mercado, pero elegimos la opción de usar un empaquetado normal para que sea más económico.

También cabe mencionar que en la Figura 6.3. no se han puesto todos los elementos, solamente los considerados relevantes para mostrar. Los que faltan son algunos del AFE que irían en forma de circuito integrado, como muestra la imagen simulada del fondo.

6.2. Pruebas

Como el proyecto trata sobre el diseño de un dispositivo y no sobre su construcción, no se han podido realizar pruebas físicamente. Sin embargo, se proponen aquí algunas que podrían ser de gran ayuda.

El objetivo principal de realizar pruebas en un prototipo es el de corregir errores de diseño (tanto hardware como software), mejorar alguna funcionalidad, comprobar el comportamiento del dispositivo (si es el esperado o no), verificar y establecer la calidad del dispositivo, etc.

Entre las pruebas propuestas, tenemos:

6.2.1. Pruebas iniciales

- Antes de nada, comprobar que el hardware está correctamente. Para ello, conectamos los electrodos en la cara y vamos a ir midiendo etapa a etapa si la salida se corresponde con lo que debe de realizar cada componente. Para visualizar la señal podríamos utilizar el osciloscopio, salvo para la primera etapa antes del preamplificador, ya que tiene una amplitud del orden de $100\mu\text{V}$ y no es capaz de detectarlo. Para ver la señal en este punto, podríamos usar algún programa informático como *Processing*.
- Crear un registro con valores medios de la potencia a aplicar con el estímulo dependiendo de la edad y del peso solamente. Para ello, escoger a personas con edades y peso diferentes, e ir comprobando cuándo reaccionan al estímulo. Poner estos valores en una tabla que se almacenará en la memoria flash para que el microcontrolador acceda a ella cuando lo necesite. Lo normal es que el valor de potencia del estímulo a aplicar crezca con el peso y con la edad. Es el resultado que cabría esperar. Mencionar que esta prueba ha de realizarse minuciosamente y debe ser muy exacta.

6.2.2. Calibración

- Establecer un *Umbral de amplitud muscular* lo más exacto posible mediante un ajuste al ir repitiendo

las pruebas. Se podría comenzar probando con un valor muy bajo de este, e ir subiendo poco a poco hasta que ya no detecte un episodio de bruxismo, en ese momento, deberemos volver a bajar hasta establecer el que se considere adecuado.

- El estímulo se aplicará al paciente cuando éste apriete los dientes con una fuerza que supere el *Umbral de amplitud muscular*. Como esta cantidad puede variar, lo normal es aplicar el estímulo cuando se supere un porcentaje de este umbral. Aquí hemos considerado el 70% ya que podría ser del que se podría partir, pero deberíamos de realizar pruebas para afinarlo mucho más y que sea más exacto.

6.2.3. Diagnóstico

- Establecer un tiempo mínimo de uso del dispositivo. Para ello, podríamos realizar pruebas con un paciente que tenga bruxismo, y ver cuál es el mínimo tiempo en el que el dispositivo lo detecta. Establecer un tiempo máximo también del mismo modo.
- Pruebas generales de diagnóstico. Pulsar el *Botón D (diagnóstico)* y comprobar que funciona correctamente. Lo mismo con el *Botón START/STOP* en este caso de uso.
- Comprobar resultados con pacientes que no sufran bruxismo, pacientes con bruxismo de baja frecuencia y pacientes con bruxismo de alta frecuencia.

6.2.4. Tratamiento

- Establecer potencia de vibración a aplicar para que funcione correctamente. Esta potencia dependerá de la edad, sexo y de los valores de umbral del paciente. Se probarán varios valores hasta dar con el acertado que realice la función que debe desempeñar sin despertar al paciente.
- Establecer duración de la vibración adecuada. Al igual que en el caso anterior, se debe establecer la duración de aplicación del estímulo.

6.2.5. Volcado de datos

- Comprobar si los datos se copian correctamente a la aplicación.
- Realizar un borrado de datos y comprobar si se lleva a cabo correctamente.

6.2.6. Efectividad

- Realizar pruebas en pacientes con bruxismo de alta frecuencia y de baja frecuencia durante un periodo de duración largo (unos dos meses por ejemplo), para establecer en qué tipo de bruxismo es más efectivo o si es igual en ambos tipos.
- Realizar pruebas en niños y adultos, mujeres y hombres para ver si responden de la misma forma al uso del dispositivo.

Hay muchas más pruebas que podrían realizarse, que se irán viendo conforme vaya avanzando el proceso de construcción y uso del dispositivo.

7 PLANIFICACIÓN TEMPORAL Y PRESUPUESTO

En este apartado, tal y como indica el título, se va a exponer la planificación temporal y el presupuesto total de nuestro proyecto.

7.1. Planificación temporal

La planificación temporal de un proyecto es la identificación de tareas a realizar, la asignación de tiempos y recursos a dichas tareas y la planificación de la secuencia de ejecución, de forma que el tiempo de desarrollo del proyecto sea mínimo.

Es objetivo del gestor de proyecto el definir todas las tareas del proyecto, identificar las que son críticas y hacerles un seguimiento para detectar de inmediato posibles retrasos.

La planificación temporal distribuye el esfuerzo estimado a lo largo de la duración prevista del proyecto, y va evolucionando con el tiempo. Es por esto, que al comienzo del proyecto se planteó una planificación temporal, pero conforme ha ido evolucionando se ha ido ajustando.

7.1.1 Tareas a realizar

En este apartado se va a mostrar una tabla con las tareas a realizar, su duración y su fecha de inicio y fin, y a continuación, un diagrama de Gantt que representa la planificación temporal final de nuestro proyecto.

Se han definido dos fases:

- Una primera fase en la que se representa en la planificación todo lo realizado durante este proyecto.
- Una segunda fase en la que se propone la evolución que debería tener en un futuro.

Se muestra a continuación la primera fase.

Tarea	Duración	Fecha Inicio	Fecha Fin
Fase de inicio	12 días	15/05/2015	26/05/2015
▪ Definición del proyecto	1 día	15/05/2015	15/05/2015
▪ Alcance y objetivos generales y específicos	1 día	16/05/2015	16/05/2015
▪ Análisis y pequeño estudio de enfermedad (posibles opciones de diagnóstico y tratamiento)	3 días	17/05/2015	19/05/2015
▪ Estudio de factibilidad: económica, técnica y operativa	3 días	20/05/2015	22/05/2015
▪ Planteamiento de la estructura del proyecto	1 día	23/05/2015	23/05/2015
▪ Primera planificación temporal (Diagrama de Gantt)	3 días	24/05/2015	26/05/2015

Estudios iniciales	43 días	27/05/2015	07/07/2015
▪ Estudio médico de la enfermedad	16 días	27/05/2015	11/06/2015
• Características (definición, tipos, síntomas, etiología)	6 días	27/05/2015	01/06/2015
• Diagnóstico	5 días	02/06/2015	06/06/2015
• Tratamiento	5 días	07/06/2015	11/06/2015
▪ Estudio técnico	27 días	12/06/2015	07/07/2015
• Estado del arte (dispositivos comerciales, patentes y aplicaciones)	15 días	12/06/2015	26/06/2015
• Especificaciones del dispositivo (de los existentes y las deseadas para el nuestro)	10 días	27/06/2015	06/07/2015
• Estudio del software informático a usar	1 día	07/07/2015	07/07/2015
Propuestas de diseño	32 días	08/07/2015	08/08/2015
▪ Diseño de los casos de uso del dispositivo	8 días	08/07/2015	15/07/2015
▪ Diseño Hardware	2 días	16/07/2015	17/07/2015
▪ Definición del comportamiento del Software	4 días	18/07/2015	21/07/2015
▪ Propuesta de diagramas de bloques	8 días	22/07/2015	29/07/2015
▪ Análisis de diferentes alternativas a cada componente	10 días	30/07/2015	08/08/2015
Elección de la solución a diseñar	8 días	09/08/2015	16/08/2015
▪ Elección de cada componente individual	4 días	09/08/2015	12/08/2015
▪ Propuesta de posibles pruebas a realizar en un futuro (técnicas y médicas)	4 días	13/08/2015	16/08/2015
Elaboración del documento	20 días	17/08/2015	05/09/2015
Preparación de la presentación	15 días	06/09/2015	20/09/2015

Tabla 7.1. Fase 1 Planificación temporal.

En esta tabla podemos ver que vamos a realizar varias tareas consecutivas, que a su vez están divididas en varias subtarefas especificadas anteriormente.

- Comienza con una fase previa de inicio. En esta fase, la persona que llevará a cabo el proyecto realiza una búsqueda de información sobre la enfermedad y de las opciones que han existido y que existen para el diagnóstico y para el tratamiento de esta. Se realiza también una estructuración de cómo va a ser el proyecto y una primera planificación temporal, que poco a poco se irá ajustando según las

conveniencias.

- A continuación, la siguiente fase es la de realizar estudios iniciales. Aquí hay que realizar dos estudios básicamente, un primer estudio médico para conocer la enfermedad profundamente, y un estudio técnico en el que se recaba información sobre hasta dónde ha llegado el desarrollo tecnológico de los dispositivos. También se plantean las especificaciones que debe tener nuestro dispositivo basándonos en las carencias que se han visto en la información que se ha leído anteriormente. En esta misma tarea se hará un planteamiento del software que se va a utilizar para llevar a cabo nuestro dispositivo.
- La siguiente tarea a realizar es la más importante de todo el proyecto: realizar las diferentes propuestas para su construcción. Para ello, se establecen los casos de uso del dispositivo, se definen los diferentes algoritmos SW y un diseño HW, se proponen diferentes diagramas de bloques para la construcción del prototipo y se hace una extensa comparación de las alternativas de las que disponemos para cada componente.
- Después, se realiza la elección de la solución final para el diseño, eligiendo solamente uno de cada uno de los planteados en las alternativas anteriores, y se realiza una propuesta de diversas pruebas que se podrían realizar en un futuro (tanto técnicas como médicas). Estas pruebas son simplemente propuestas, ya que al no ser alcance del proyecto la construcción del dispositivo, no se pueden llevar a cabo. Se plantean para una segunda fase de este proyecto.
- Por último, hay que redactar el documento de la memoria en el que se explique detalladamente todo lo que se ha realizado, y finalmente la preparación de la presentación.

A continuación, se propone una planificación temporal de lo que sería la segunda fase del proyecto. Como ya se ha dicho, esta no pertenece al proyecto, sino que habría de realizarse después. Por esa misma razón, no se va a incluir fecha de inicio y fin, solamente la duración, ya que este proyecto aún no está establecido.

Tarea	Duración
Fase de inicio	18 días
▪ Planificación temporal	3 días
▪ Búsqueda de ingenieros (de software y de hardware)	15 días
Prototipado	3 meses
▪ Software	2 meses (acaba un mes antes el prototipado y vuelve a la fase de pruebas)
▪ Hardware	3 meses
Fase de pruebas	2 meses (ambas solapadas)
▪ Técnicas	1 mes
▪ Médicas (realizadas por el médico usando el dispositivo)	2 meses
Obtención de certificados	6 meses
▪ Marcado CE	
▪ Certificado de la agencia española del medicamento (AEM)	

Marketing y venta

14 días

Tabla 7.2. Fase 2 Planificación temporal.

Como ya se ha dicho, lo expuesto en la tabla anterior corresponde a una segunda fase del proyecto en la que se llevaría a cabo la construcción del dispositivo. Esta planificación serviría para dar una pauta principal al gestor del siguiente proyecto.

También tenemos en esta fase varias tareas con sus respectivas subtarefas, y de forma resumida, son las siguientes:

- Tendría una primera etapa de inicio, en la que se realizaría la planificación completa de todo el proyecto y se establecería el alcance. También se realizaría la búsqueda (proceso de selección) de los ingenieros que fueran a llevarla a cabo. Harían falta dos ingenieros, uno de software y otro de hardware.
- A continuación, comenzaría ya la construcción del prototipo. Para ello, el ingeniero de software y el de hardware comenzarían al mismo tiempo, pero el de hardware necesitaría un mes más de trabajo.
- Después se realizarían las pruebas. Habrá dos tipos de pruebas: las técnicas, que se realizarían por ambos ingenieros, para lo cual volvería el ingeniero de software, y las médicas, que se llevarían a cabo por el médico especialista que utilizará el dispositivo con pacientes que tengan la enfermedad. Estas últimas pruebas servirán para comprobar resultados, y sería conveniente que alguno de los ingenieros estuviera presente para realizar cualquier ajuste en caso de que fuera necesario. Cabe mencionar que los dos tipos de pruebas pueden realizarse simultáneamente.
- Casi para terminar, una vez que el dispositivo haya pasado todas las pruebas satisfactoriamente se enviarán los documentos necesarios para que el dispositivo obtenga los certificados necesarios, que serán: el marcado CE, y los de la Agencia Española del Medicamento.
- Por último, se realizará una primera fase de marketing y venta del producto.

7.1.2 Diagramas de Gantt

Una vez vista en una tabla la planificación temporal de nuestro proyecto, vamos a representarla en un diagrama de Gantt, para lo cual, se usará el programa *GanttProject*.

Gantt project				
	Nombre	Fecha de inicio	Fecha de fin	Duración
☐	• Fase de inicio	15/05/15	26/05/15	12 días
•	Definición del proyecto	15/05/15	15/05/15	1 día
•	Alcance y objetivos	16/05/15	16/05/15	1 día
•	Análisis de la enfermedad	17/05/15	19/05/15	3 días
•	Estudio de factibilidad	20/05/15	22/05/15	3 días
•	Planteamiento de la estructura del proyecto	23/05/15	23/05/15	1 día
•	Primera planificación temporal	24/05/15	26/05/15	3 días
☐	• Estudios iniciales	27/05/15	7/07/15	43 días
☐	• Estudio médico	27/05/15	11/06/15	16 días
•	Características de la enfermedad	27/05/15	1/06/15	6 días
•	Estudios sobre el diagnóstico	2/06/15	6/06/15	5 días
•	Estudios sobre el tratamiento	7/06/15	11/06/15	5 días
☐	• Estudio técnico	12/06/15	7/07/15	27 días
•	Estado del arte (dispositivos, patentes y apps)	12/06/15	26/06/15	15 días
•	Estudio de las especificaciones para el dispositivo	27/06/15	6/07/15	10 días
•	Estudio del software informático a utilizar	7/07/15	7/07/15	1 día
☐	• Propuestas de diseño	8/07/15	8/08/15	32 días
•	Diseño de casos de uso del dispositivo	8/07/15	15/07/15	8 días
•	Diseño Hardware	16/07/15	17/07/15	2 días
•	Definición del comportamiento del Software	18/07/15	21/07/15	4 días
•	Propuesta diagramas de bloques	22/07/15	29/07/15	8 días
•	Análisis de alternativas a cada componente	30/07/15	8/08/15	10 días
☐	• Elección de la solución a diseñar	9/08/15	16/08/15	8 días
•	Elección de cada componente individual	9/08/15	12/08/15	4 días
•	Propuesta de posibles pruebas futuras	13/08/15	16/08/15	4 días
•	Elaboración del documento	17/08/15	5/09/15	20 días
•	Preparación de la presentación	6/09/15	20/09/15	

Figura 7.1. Tareas y subtareas para el diagrama de Gantt de la fase 1.

Se muestra a continuación el diagrama de Gantt cortado en dos partes para tener una visualización mejor de este.

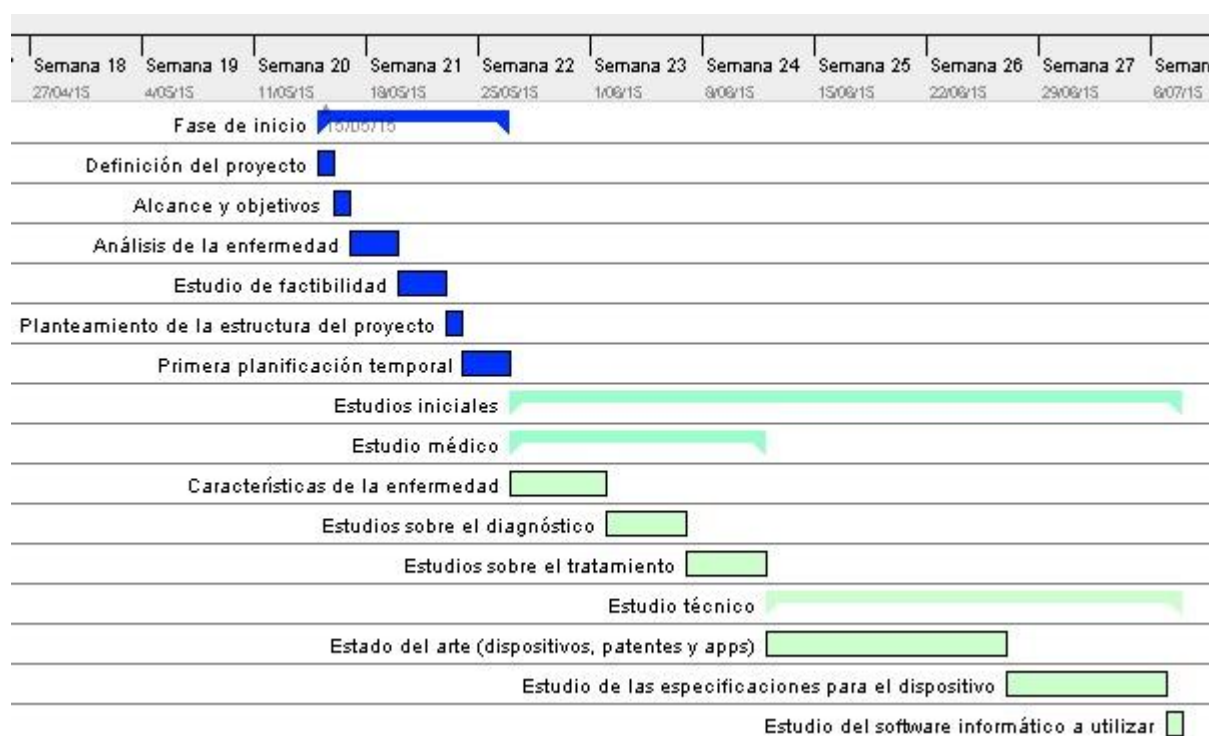


Figura 7.2. Diagrama de Gantt Fase 1 – Dos primeras tareas.

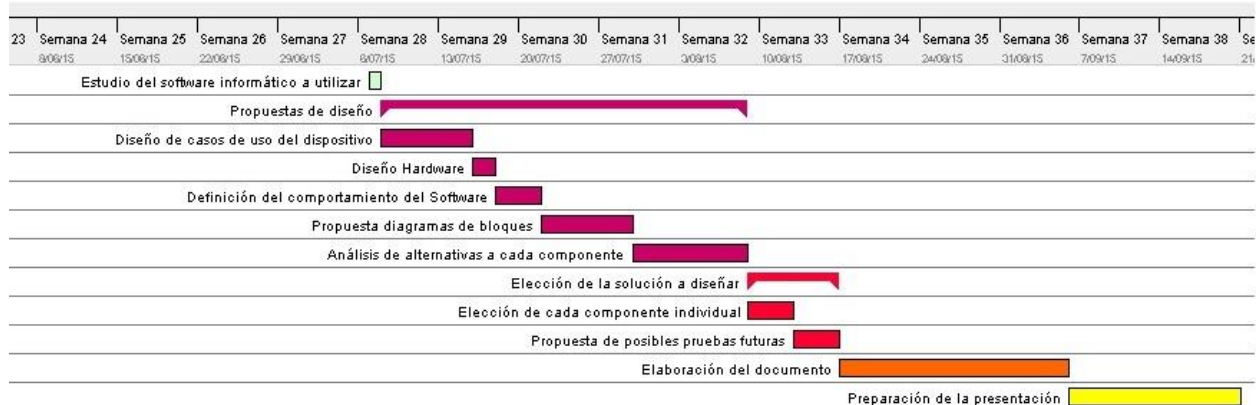


Figura 7.3. Diagrama de Gantt Fase 1 – Cuatro últimas tareas.

A continuación, se muestra el mismo diagrama pero para la Fase 2 (la que no vamos a llevar a cabo en este proyecto, pero se muestra como propuesta).



Figura 7.4. Tareas y subtareas para el diagrama de Gantt de la fase 2.

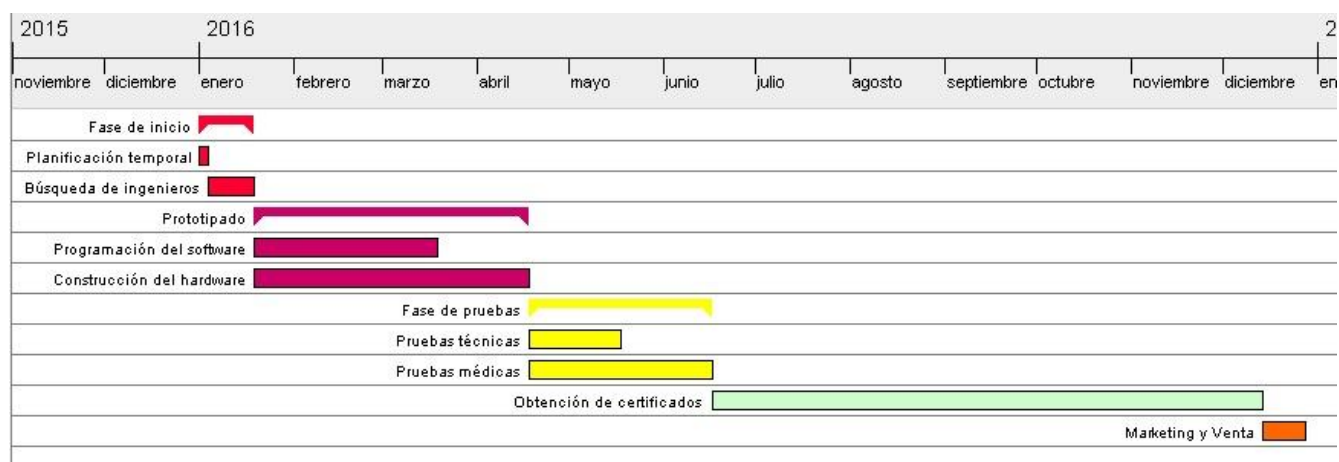


Figura 7.5. Diagrama de Gantt Fase 2.

Como podemos ver, para esta segunda fase el diagrama está mucho más reducido ya que no se ha entrado en detalle. Esto será labor del gestor del proyecto que derive de este.

7.1.3 Conclusiones

Para las conclusiones tendremos en cuenta solamente la fase 1 descrita anteriormente.



Figura 7.6. Planificación del tiempo.

Se ha realizado una comparación de los tiempos que dedicamos a las distintas tareas sin números, y podemos ver fácilmente que la tarea que más tiempo necesita es en la que se realiza la propuesta del diseño, y la que menos la fase de definición del proyecto. Esto era de esperar, al igual que era de esperar que la fase que más tiempo tomase después de la propuesta del diseño sea la de investigación.

7.2. Presupuesto

Este presupuesto es una estimación de los gastos que conllevaría la realización del proyecto completo. Una primera fase de estudio y propuesta de un diseño y una segunda parte de construcción, validación y venta.

Se muestra a continuación el presupuesto desglosado totalmente.

Concepto	Cantidad	Precio unidad (€)	Precio (€)
Material para 1 dispositivo			
• Electrodo SSF	2	10.61 (12\$)	21.22
• Electrodo EVR (Tierra)	1	14.15 (16\$)	14.15
• Pre-amplificador INA-126	1	1.04 (1.18\$)	1.04
• Filtro LP LTC1563	1	2.08 (2.35\$)	2.08
• Rectificador 595-UC3610	1	7.03	7.03
• Amplificador OPA376	1	0.58 (0.65\$)	0.58
• CAD AD51258	1	14.6 (16.5\$)	14.6

• Microcontrolador Arduino Pro Mini	1	10	10
• Estímulo Vibrador 312-101	2	5.83	11.66
• Bluetooth LMX9838	1	33.96 (38.39\$)	33.96
• Memoria FLASH 1GB	1	5.09	5.09
Sueldos y salarios de ingenieros			
• Ingeniero técnico para estudio inicial y diseño	5 meses	1200€/mes	6000
• Ingeniero software (2 meses programación + 1 mes de realización de pruebas)	3 meses	1500€/mes	4500
• Ingeniero hardware (3 meses construcción + 2 meses de realización de pruebas)	5 meses	1500€/mes	7500
Validación médica del prototipo (por un médico)			3000
Gastos de la empresa por ergonomía del puesto de trabajo (ordenadores, mobiliario)			7000
Certificados (Marcado CE, Certificado de la Agencia Española del Medicamento)			15000
Total (IVA incluido)			43.121,41

Tabla 7.3. Presupuesto.

El presupuesto asciende a un total de CUARENTA Y TRES MIL CIENTO VEINTI UN EUROS CON CUARENTA Y UN CÉNTIMOS.

Para verlo en forma de grafo, vamos a hacer como en el caso de la planificación temporal un diagrama de comparación.

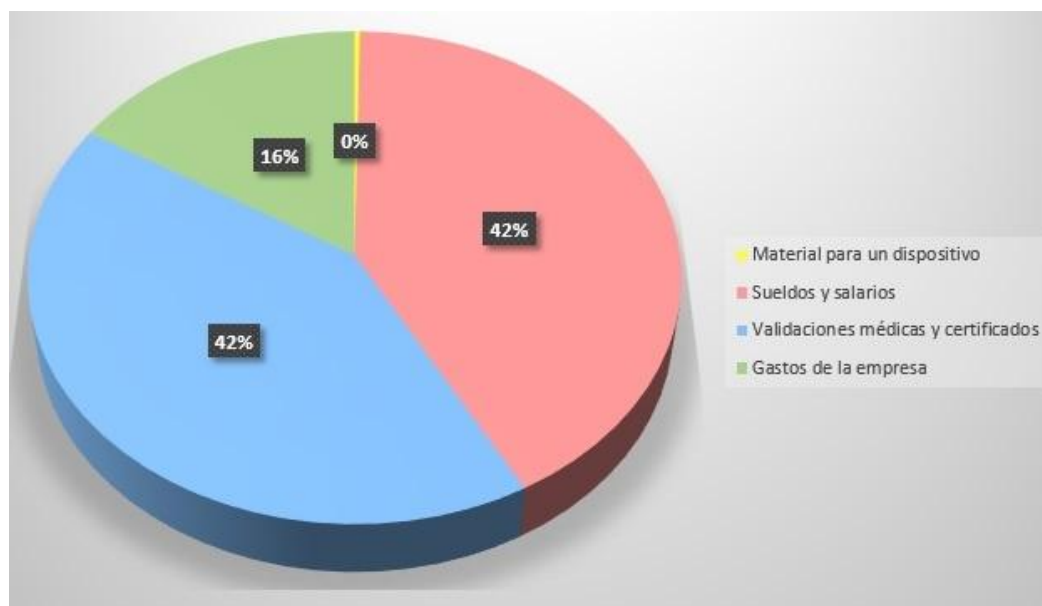


Figura 7.7. Gráfica de presupuesto.

Como vemos en la gráfica, el presupuesto destinado a sueltos - salarios y a validaciones médicas y certificados es el mismo. El material para el dispositivo es insignificante en comparación con ellos, pero por la simple razón de que solamente se ha tenido en cuenta para un dispositivo (el del prototipo).

8 CONCLUSIONES Y FUTURO DESARROLLO

El bruxismo es una enfermedad muy extendida sin importar el sexo o la edad del paciente. Consiste en una parafunción de la mandíbula que hace que el paciente apriete o rechine los dientes. Se ha realizado un estudio profundo en esta patología: sintomatología, etiología, diagnóstico y tratamiento.

Se han llevado a cabo en este proyecto las siguientes funciones o tareas en las que se han extraído las siguientes conclusiones:

- Estudio de la enfermedad. Con este estudio se ha conseguido conocer a fondo la enfermedad y así intentar adaptar el dispositivo a las necesidades de los pacientes.
- Investigación de los avances tecnológicos en cuanto a dispositivos, patentes y aplicaciones. Gracias a realizar este estudio hemos podido detectar las carencias de algunos de ellos para poder solventarlas, y las características que se han considerado beneficiosas que nos gustaría que tuviera nuestro dispositivo.
- Diseño del hardware. Se ha realizado un diseño tanto exterior como interior del dispositivo, intentando que sea lo más cómodo posible para el paciente cuando vaya a utilizarlo.

En el diseño interior del hardware se ha intentado escoger componentes que realicen las funciones deseadas. La principal especificación que ha intentado cumplirse es, por supuesto, que la funcionalidad sea la deseada, y a continuación, la de las dimensiones. Se ha ido buscando que el dispositivo sea lo más compacto posible, para lo cual solamente se ha mirado es antes que el precio incluso.

- Se han definido 4 casos de uso para nuestro dispositivo: modo diagnóstico, modo tratamiento, modo calibración y modo volcado de datos. Cada uno de ellos se ha especificado detalladamente.
- Se han establecido diferentes alternativas para cada uno de los componentes, y se ha elegido la más adecuada en cada caso.
- La batería de pruebas propuesta no se puede realizar hasta que el dispositivo no se haya construido.
- El presupuesto del proyecto en sí no es muy elevado, y asciende a casi 50.000€ ya que se ha incluido la segunda fase de construcción, que no es del alcance de este proyecto.

Como futuro desarrollo, se plantea lo siguiente:

- Se podría realizar la construcción del dispositivo siguiendo las pautas que se indican en este escrito.
- Al llevar a cabo la construcción, se podría aumentar el número de pruebas a realizar ya que con el dispositivo delante van surgiendo ideas para pruebas exhaustivas.
- Programar el software de los distintos dispositivos. En este documento se ha indicado solamente su funcionamiento y se han propuesto algunos diagramas de flujo. Llevar a la programación estos diagramas con el lenguaje adecuado que considere el gestor del futuro proyecto.
- Definir la aplicación móvil explícitamente y programarla. En este escrito solamente se ha realizado una propuesta que podría ser interesante, pero esta propuesta no está del todo desarrollada. Podría desarrollarse en otro proyecto junto con su programación en diferentes plataformas.

9 ANEXOS

Anexo I: Electromiograma

Es el proceso en el cual se mide la actividad eléctrica de los músculos. Se realiza por medio de unos discos metálicos planos, llamados electrodos, que se colocan en la zona de interés, que puede ser brazo, cara, pierna, etc. Estos cables van conectados a una máquina electrónica que convierte las señales en patrones que se pueden observar en un monitor. La prueba consiste esencialmente en registrar las corrientes eléctricas que se forman en los nervios y músculos al producirse contracciones.

Es una prueba que se usa para estudiar el funcionamiento del sistema nervioso periférico y los músculos que intervienen en él. Gracias a él se puede diagnosticar con precisión enfermedades neuromusculares congénitas o adquiridas, y permite clasificarlas según su intensidad y origen.

Con esta prueba se puede identificar si las alteraciones neuromusculares se deben al músculo o a las fibras nerviosas. Para ello, se analiza básicamente:

- La amplitud de las corrientes eléctricas.
- El número de fibras musculares que se contraen.
- El tiempo que tardan en contraerse.
- El tiempo que se mantienen contraídas.

Se lleva a cabo por un neurofisiólogo o neurólogo, y con los datos que obtenga puede realizar un análisis bastante aproximado del origen de las alteraciones que se den en el momento al paciente.

No es una prueba muy cara, sin embargo, su interpretación puede ser difícil en ocasiones, y siempre debe acompañarse de un buen estudio médico completo mediante entrevista clínica y exploración física.

Hay dos tipos de EMG:

- EMG intramuscular. Utilizado para investigar músculos profundos o actividad muscular localizada. Para llevarla a cabo, se usa una aguja electrodo que se inserta a través de la piel hasta que entra al tejido muscular. Esto sólo puede realizarse por profesionales. Se considera un método muy invasivo o innecesario en algunos casos.
- EMG de superficie (S-EMG). Usado para músculos superficiales en protocolos clínicos o kinesiológicos. Es un método para nada invasivo y por ello es por lo que es el que más se utiliza. De hecho, es el que se utiliza en este proyecto.

Las características del EMG de superficie son las siguientes:

- Su amplitud es muy pequeña, imperceptible por algunos osciloscopios. Es del orden de $100\mu\text{V}$, y normalmente toma valores de $300\text{-}400\mu\text{V}$.
- Su rango de frecuencias es de 0 a 500Hz, es decir, se encuentra en las bajas frecuencias. Sin embargo, la mayoría de la información se encuentra en la banda de 20 a 200Hz. Fuera de esta banda nos encontraremos ruido en mayor medida.

Anexo II: Datasheet de los sensores

Anexo II.1. Sensor 1: Muscle Sensor v3

Muscle Sensor v3



Three-lead Differential Muscle/Electromyography Sensor for Microcontroller Applications

FEATURES

- Small Form Factor (1inch X 1inch)
- Specially Designed For Microcontrollers
- Adjustable Gain – Improved Ruggedness
- New On-board 3.5mm Cable Port
- Pins Fit Easily on Standard Breadboards

APPLICATIONS

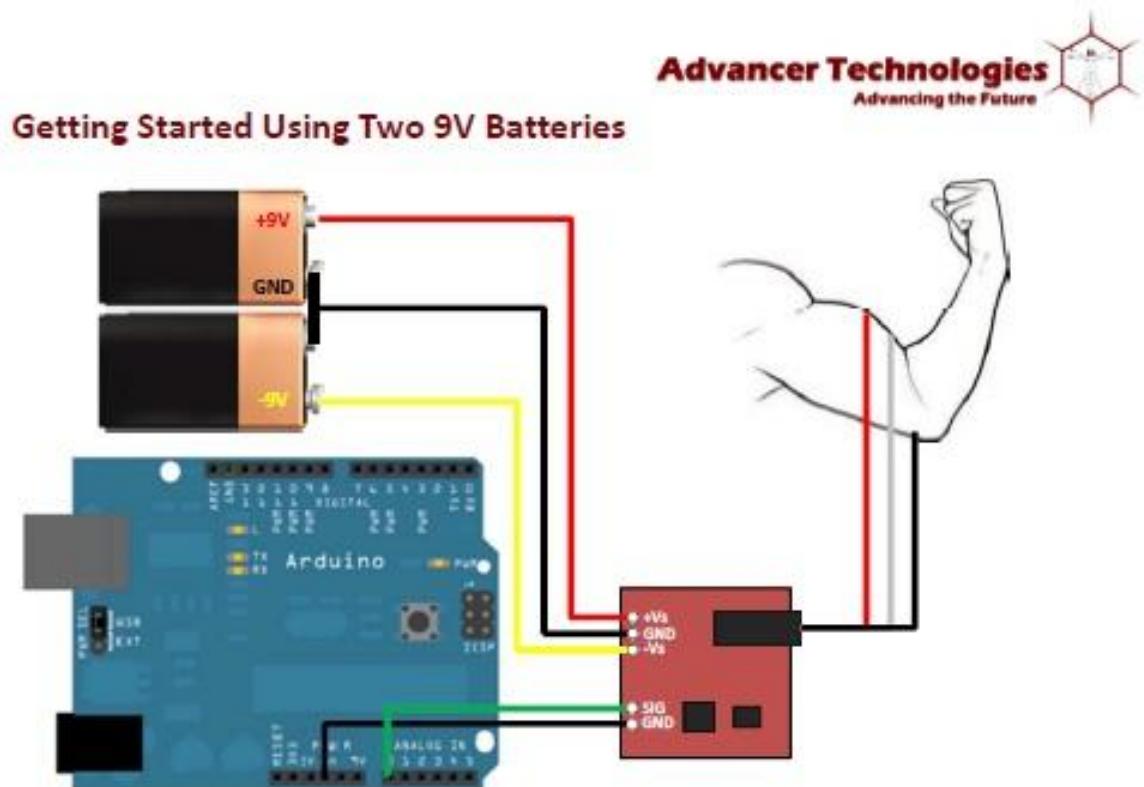
- Video games
- Robots
- Medical Devices
- Wearable/Mobile Electronics
- Powered Exoskeleton suits

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.

PIN LAYOUT

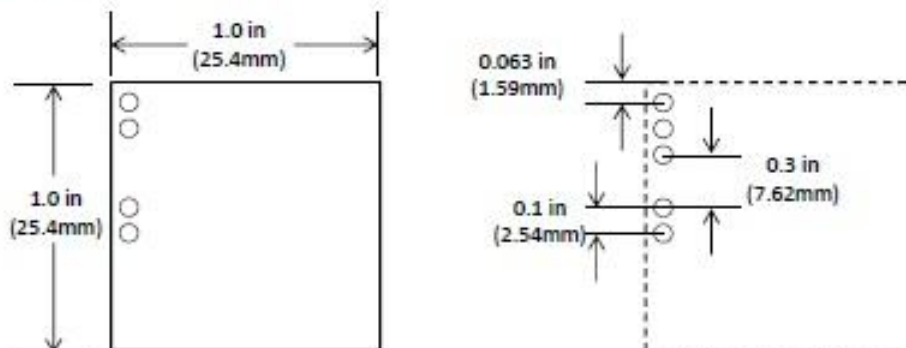




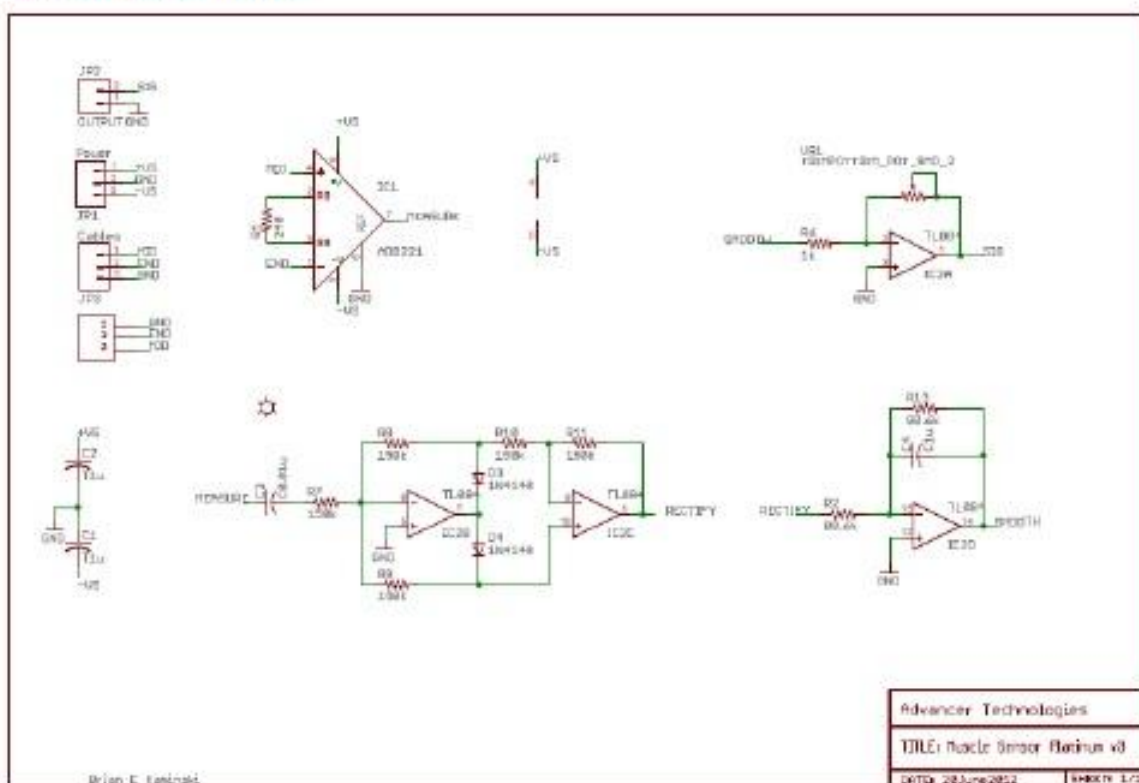
- 1) Connect the power supply (two 9V batteries)
 - a. Connect the positive terminal of the first 9V battery to the +Vs pin on your sensor.
 - b. Connect the negative terminal of the first 9V battery to the positive terminal of the second 9V battery. Then connect to the GND pin on your sensor.
 - c. Connect the negative terminal of the second 9V battery to the -Vs pin of your sensor.
- 2) Connect the electrodes
 - a. After determining which muscle group you want to target (e.g. bicep, forearm, calf), clean the skin thoroughly.
 - b. Place one electrode in the middle of the muscle body, connect this electrode to the RED Cable's snap connector.
 - c. Place a second electrode at one end of the muscle body, connect this electrode to the Blue Cable's snap connector.
 - d. Place a third electrode on a bony or non-muscular part of your body near the targeted muscle, connect this electrode to the Black Cable's snap connector.
- 3) Connect to a Microcontroller (e.g. Arduino)
 - a. Connect the SIG pin of your sensor to an analog pin on the Arduino (e.g. A0)
 - b. Connect the GND pin of your sensor to a GND pin on the Arduino.



Dimensions



Circuit Schematic



© 4 February 2013

www.AdvancerTechnologies.com
AdvancerTechnologies@gmail.com



Electrical Specifications

Parameter	Min	TYP	Max
Power Supply Voltage (Vs)	±3V	±5V	±30V
Gain Setting, Gain = $207 \cdot (X / 1 \text{ k}\Omega)$	0.01 Ω (0.002x)	50 k Ω (10,350x)	100 k Ω (20,700x)
Output Signal Voltage (Rectified & Smoothed)	0V	--	+Vs
Differential Input Voltage	0 mV	2-5mV	+Vs/Gain



ELECTROSTATIC DISCHARGE SENSITIVITY

This sensor can be damaged by ESD. Advancer Technologies recommends that all sensors be handled with appropriate precautions. Failure to observe proper handling and installation procedures can cause damage.

ESD damage can range from subtle performance degradation to complete device failure.

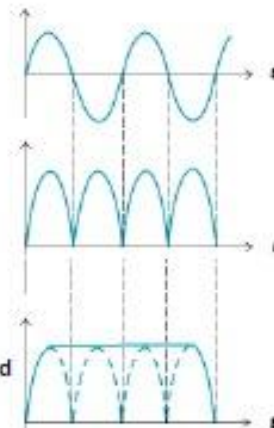
RAW EMG vs Rectified & Smoothed EMG

Our Muscle Sensors are designed to be used directly with a microcontroller. Therefore, our sensors do not output a RAW EMG signal but rather an amplified, rectified, and smoothed signal that will work well with a microcontroller's analog-to-digital converter (ADC). This difference can be illustrated by using a simple sine wave as an example.

RAW Sine Wave

Full Wave Rectified Sine Wave

Rectified & Smoothed Sine Wave



Anexo II.2. Sensor 2:



© 2015

3-lead Muscle / Electromyography Sensor for Microcontroller Applications

MyoWare™ Muscle Sensor (AT-04-001)

DATASHEET

FEATURES

- NEW - Wearable Design
- NEW - Single Supply +3.1V to +5.9V
- 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

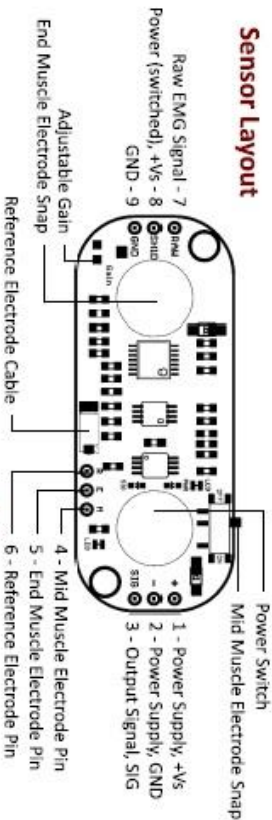
- Video games
- Robotics
- Medical Devices
- Wearable/Mobile Electronics
- Prosthetics/Orthotics



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.

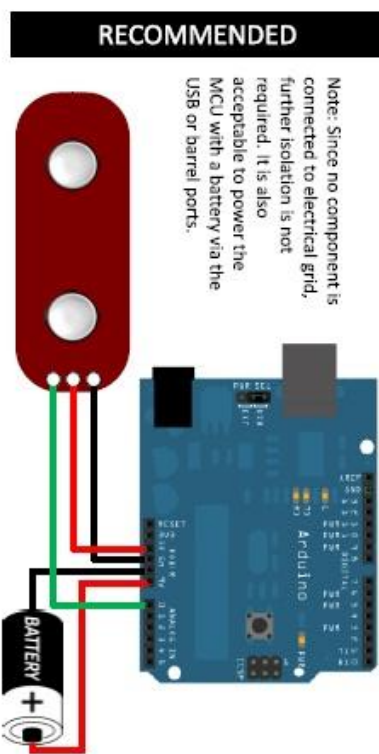
Sensor Layout



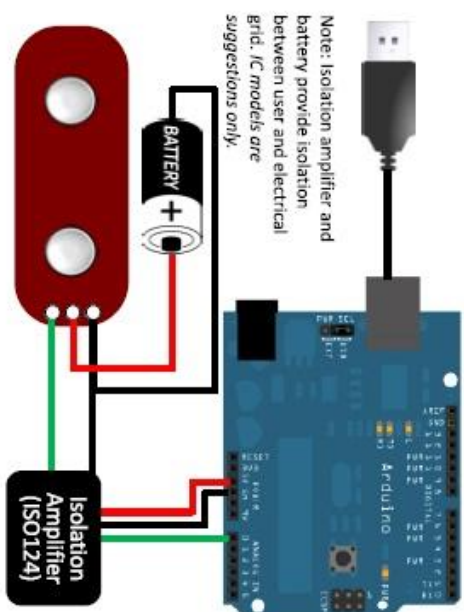
© 2015

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

a) Battery powered with isolation via no direct external connections



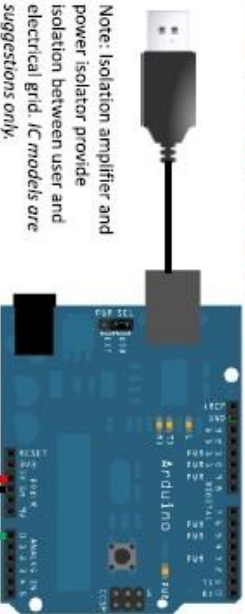
b) Battery powered sensor, Grid powered MCU with output isolation



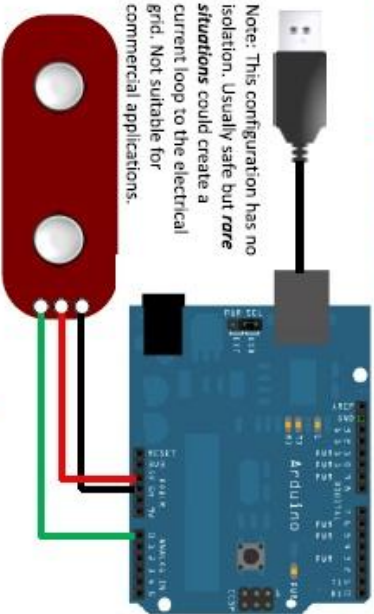
(Note: Arduino and batteries not included. Arduino setup is only an example; sensor will work with numerous other devices.)

Setup Configurations (cont'd)

c) Grid powered with power and output isolation

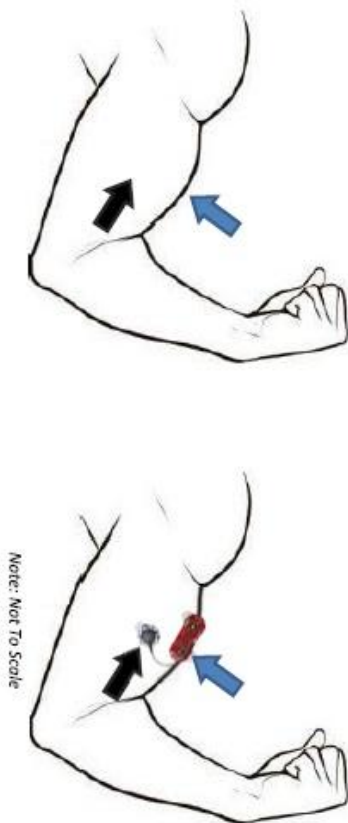


d) Grid powered. **Warning: No isolation.**



Setup Instructions

© 2015



Example Sensor Location for Bicep

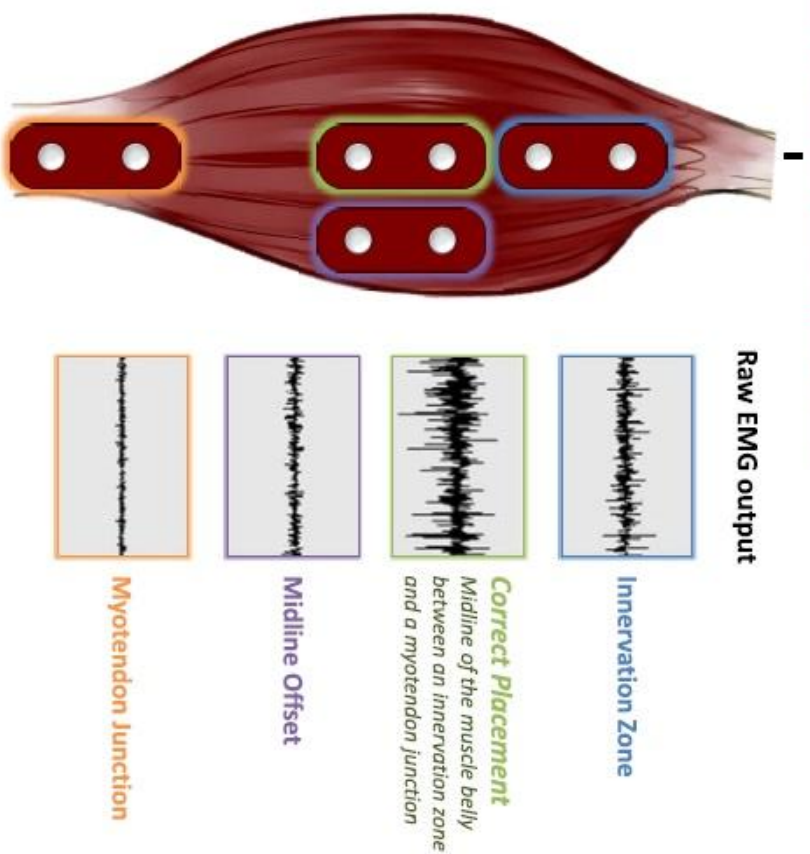
- 1) Thoroughly clean the intended area with soap to remove dirt and oil
- 2) Snap electrodes to the sensor's snap connectors
(Note: While you can snap the sensor to the electrodes after they've been placed on the muscle, we do not recommend doing so due to the possibility of excessive force being applied 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

EMAIL: support@advancer.co

Advancer
Technologies

www.AdvancerTechnologies.com

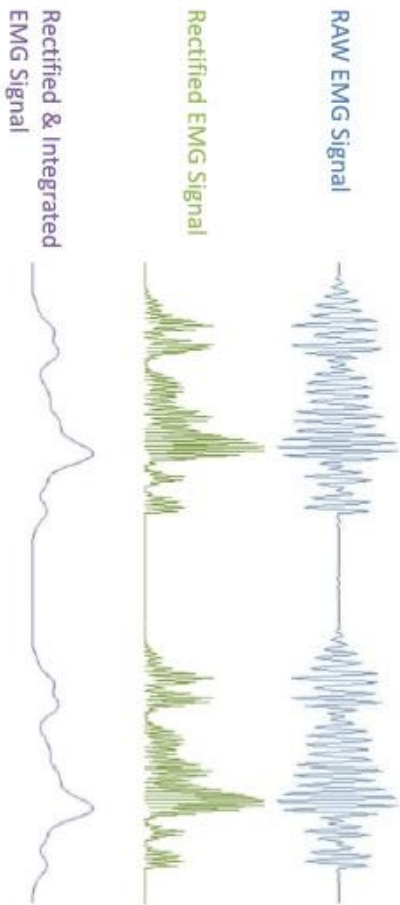
Why is electrode placement important?



Position and orientation of the muscle sensor electrodes has a vast effect on the strength of the signal. The electrodes should be place 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.*

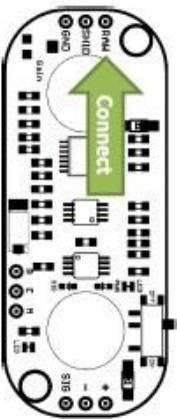


Reconfigure for Raw EMG Output

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

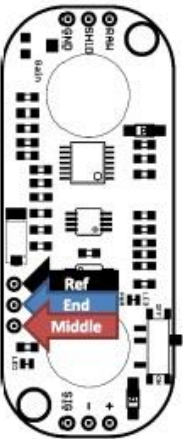
To output the raw EMG signal, simply connect the raw EMG signal pin to your measuring device instead of the SIG pin.

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.



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

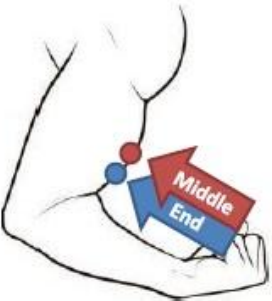
Connect this pad to the cable leading to an electrode placed in the middle of the muscle body.

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 an separate section of the body, such as the bony portion of the elbow or a nonadjacent muscle

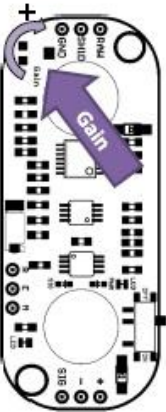


Adjusting the gain

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.

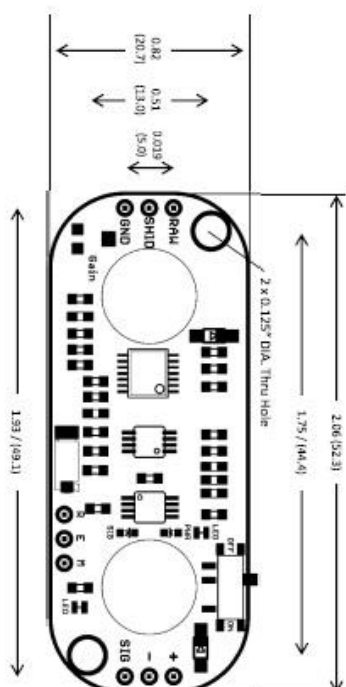


Electrical Specifications

Parameter	Min	TYP	Max
Supply Voltage	+3.1V	+3.3V or +5V	+6.3V
Adjustable Gain Potentiometer	0.01 Ω	50 k Ω	100 k Ω
Output Signal Voltage EMG Envelope Raw EMG (centered about +Vs/2)	0V 0V	— —	+Vs +Vs
Input Impedance	—	110 G Ω	—
Supply Current	—	9 mA	14 mA
Common Mode Rejection Ratio (CMRR)	—	110	—
Input Bias	—	1 pA	—

© 2015

Dimensions



EMAIL: support@advancer.co

Advancer™
Technologies

www.AdvancerTechnologies.com

Anexo III. Mercado CE

El mercado CE es un requisito reglamentario obligatorio para la comercialización de los productos en el Mercado nacional y de la Unión Europea, con el cual se indica que el producto cumple con la legislación.

Es necesario que el producto disponga del mercado CE para su comercialización y puesta en servicio en el mercado europeo. Esto se debe a que el mercado certifica que el producto ha sido evaluado antes de ponerse en el mercado y que cumple los requisitos legales para su venta.

Es responsabilidad del fabricante llevar a cabo la evaluación de conformidad, crear el expediente técnico, expedir la declaración CE y realizar la etiquetación CE del producto. Los distribuidores deben verificar la presencia del etiquetado CE así como de la documentación justificativa necesaria. Si el producto es importado desde fuera de la Unión, el importador ha de verificar que el fabricante ha tomado las medidas necesarias y que la documentación está disponible en el caso de ser solicitada.

El mercado CE se indica en su etiquetado e instrucciones de uso mediante el símbolo:

CE

Anexo IV. Textiles Inteligentes

Se adjunta este anexo, ya que, tal y como se dijo, los electrodos en este diseño se encuentran fuera de la carcasa del dispositivo, pero si en algún momento se quiere dejar los electrodos dentro de ella, se puede usar como carcasa algún textil inteligente.

Las llamadas “prendas inteligentes”, que se caracterizan por llevar incorporados determinados elementos o sistemas que les permiten responder con cierta autonomía a las necesidades del cuerpo en función de las características del entorno.

Habitualmente se clasifican en tres categorías:

- Pasivos. Mantienen sus características independientemente del entorno exterior (sólo “sienten” los estímulos exteriores).
- Activos. Actúan específicamente sobre un agente exterior (no sólo “sienten” el estímulo exterior sino que reaccionan ante él).
- Muy activos. Este tipo de tejidos adaptan automáticamente sus propiedades al percibir cambios o estímulos externos.

Los textiles inteligentes pueden obtenerse empleando directamente en la fabricación del tejido las llamadas fibras inteligentes, que son aquellas que pueden reaccionar ante la variación de estímulos tales como la luz, el calor, el sudor, etc.

A veces, es necesario detectores de estímulos más específicos como los biosensores.

Un biosensor es un dispositivo analítico cuya detección está basada en interacciones biológicas. Convierte la señal biológica producida por la interacción entre el elemento de reconocimiento en una señal eléctrica.

Entre los tipos de textiles inteligentes tenemos:

- *Textiles que incorporan microcápsulas PCM.* En función de las condiciones ambientales, las microcápsulas incorporadas al textil son capaces de absorber, almacenar y liberar el calor corporal en función de las condiciones ambientales.
- *Polimerización de textiles con plasma.* Este sistema permite impermeabilizar cualquier material sin modificar sus propiedades. Son usados por ejemplo para textiles anti-manchas o impermeables.
- *Cosmetotextiles.* Pueden ayudar a la piel humana a prevenir infecciones de agentes externos, aunque también pueden desprender aromas frescos; en definitiva, se trata de aumentar la sensación de bienestar de la persona que los usa. El mayor problema es la duración.
- *Textiles que conducen la electricidad.* Para ello, se usan hilos conductores, tinta conductora o nanotubos de carbono. Este tipo de textil puede ser utilizado por la tecnología TENS vista durante el proyecto.
- *Desarrollos que incorporan la electrónica y la informática a los textiles.* En la incorporación de elementos electrónicos a la vestimenta humana han sido claves la sustitución de estructuras rígidas por otras flexibles y la miniaturización. Así, las prendas de vestir pueden incorporar, por ejemplo, pequeños sensores o diminutas fibras conductoras. Esta tecnología es la que podría utilizarse para nuestro proyecto, y seguramente sea la que usa el dispositivo *BiteStrip*.
- *Nanotecnologías.* La nanotecnología trabaja con los materiales en sus dimensiones más pequeñas.

No todo son ventajas, pues hay diferentes problemas que se presentan al usar textiles inteligentes. Estos textiles necesitan ser alimentados mediante baterías portables generalmente. Sin embargo, se emplea el autoabastecimiento mediante pequeños convertidores que utilizan las energías renovables para alimentar los circuitos: vibración, luz, calor o radiofrecuencias.

Estos tejidos deben tener ser robustos, deben poder soportar lavados, golpes, etc., y sobre todo deben ser robustos al ruido, que esto es algo que aún no se ha resuelto en la actualidad.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. D. Lantada, Metodología para el desarrollo de dispositivos médicos basados en el empleo de polímeros activos como sensores y actuadores, 2009.
- [2] K. B. E. a. N. M. Nishigawa, «Quantitative study of bite force during sleep associated bruxism,» *Journal of Oral Rehabilitation*, vol. 20, nº 5, pp. 485-491, 2001.
- [3] D. G. L. P. D. M. C. P. O. D. J. P. T. Dr. Rodrigo Casassus F., «Etiología del Bruxismo,» *Revista Dental de Chile*, vol. 99 , nº 3, pp. 27-33, 2007.
- [4] «Wikipedia,» [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Bruxismo>. [Último acceso: 2015].
- [5] «Dmedicina,» [En línea]. Available: <http://www.dmedicina.com/enfermedades/psiquiatricas/bruxismo.html>. [Último acceso: 2015].
- [6] «Web de Consultas,» [En línea]. Available: <http://www.webconsultas.com/bruxismo/sintomas-del-bruxismo-2465>. [Último acceso: 2015].
- [7] «SCIelo,» [En línea]. Available: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0213-12852003000300003. [Último acceso: 2015].
- [8] «Institut Ferran de Reumatología,» [En línea]. Available: <http://www.institutferran.org/bruxismo.htm>. [Último acceso: 2015].
- [9] A. T. H. J. C. L. Romero-García, Bruxismo del sueño. Actualización sobre mecanismos etiopatogénicos, diagnóstico y tratamiento, 2014.
- [10] «Odontocat,» [En línea]. Available: <http://odontocat.com/bruxismoca.htm> . [Último acceso: 2015].
- [11] «Asociación médica latinoamericana de rehabilitación,» [En línea]. Available: <http://www.portalamlar.org/contenido/160-efecto-de-la-inyeccion-de-toxina-botulinica-en-el-bruxismo-nocturno-ensayo-clinico-controlado-y-aleatorizado> . [Último acceso: 2015].
- [12] D. E. M. Callís, «Tratamiento del Bruxismo,» *Geodental.com*, nº 4381, 2001.
- [13] «Dmedicina,» [En línea]. Available: <http://www.dmedicina.com/enfermedades/musculos-y-huesos/2003/01/23/estimulacion-electrica-transcutanea-tens-4753.html> . [Último acceso: 2015].
- [14] «up2dent,» 2015. [En línea]. Available: http://www.pxt.pt:8080/bitestripweb/FMPro?-DB=BS_SS_CMS.fp5&-Format=bs_insert.html&-Max=1&bsss=bs&sprache=es&seitenid=p2&-Find# .
- [15] «SleepGuard,» [En línea]. Available: <http://www.mysleepguard.com/international/overview.html> . [Último acceso: 2015].
- [16] «NCBI,» [En línea]. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23846087>. [Último acceso: 2015].

- [17] «Luxadent Dental Office,» [En línea]. Available: <http://www.luxadent.be/Grindcare.htm>. [Último acceso: 2015].
- [18] «Google Académico - Sección patentes,» [En línea]. Available: <https://www.google.com/patents/>. [Último acceso: 2015].
- [19] «Andrew Johnson,» [En línea]. Available: <http://www.withandrewjohnson.com/products/stop-bruxism#.VfARzhHtmko> . [Último acceso: 2015].
- [20] «Google Play Apps,» [En línea]. Available: <https://play.google.com/store/apps>. [Último acceso: 2015].
- [21] «ArquiUCT Blog,» [En línea]. Available: <http://arquiuct.blogspot.com.es/2012/12/diferencia-entre-un-micro-procesador-y.html>. [Último acceso: 2015].
- [22] «Texas Instruments,» [En línea]. Available: http://www.ti.com/solution/ecg_electrocardiogram#. [Último acceso: 2015].
- [23] «Texas Instruments,» [En línea]. Available: http://www.ti.com/solution/medical_meters_portable. [Último acceso: 2015].
- [24] «Moon,» [En línea]. Available: <http://moon.ouhsc.edu/dthomps/pk/emg/emg.htm#detect>. [Último acceso: 2015].
- [25] «Electrodes Store,» [En línea]. Available: <http://electrodestore.com/collections/emg/>. [Último acceso: 2015].
- [26] «Texas Instruments,» [En línea]. Available: <http://www.ti.com/product/INA126/technicaldocuments>. [Último acceso: 2015].
- [27] «Linear Technology,» [En línea]. Available: <http://www.linear.com/product/LTC1563>. [Último acceso: 2015].
- [28] «Mouser Electronics,» [En línea]. Available: <http://eu.mouser.com/ProductDetail/Texas-Instruments/UC3610N/?qs=sGAepiMZZMtQ8nqTKtFS%2f%2fMd4zdpLw9S0mndReH3dY%3d> . [Último acceso: 2015].
- [29] «Linear Technology,» [En línea]. Available: <http://www.linear.com/solutions/1194>. [Último acceso: 2015].
- [30] «Texas Instruments,» [En línea]. Available: <http://www.ti.com/product/opa376>. [Último acceso: 2015].
- [31] «Texas Instruments,» [En línea]. Available: <http://www.ti.com/product/ads1258>. [Último acceso: 2015].
- [32] «Arduino,» [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardProMini>. [Último acceso: 2015].
- [33] «Precision MicroDrives,» [En línea]. Available: <https://catalog.precisionmicrodrives.com/order-parts/product/312-101-12mm-vibration-motor-3mm-type>. [Último acceso: 2015].
- [34] G. d. Luca, Fundamental Concepts in EMG Signal Acquisition., 2001.

- [35] «Texas Instrument,» [En línea]. Available: <http://www.ti.com/product/LMX9838/description>. [Último acceso: 2015].
- [36] «Electrónica Digital,» [En línea]. Available: <https://sites.google.com/site/electronicadigitaluvfime/5-1tipos-de-memorias-ram-rom-dram-sram>. [Último acceso: 2015].
- [37] «Amazon,» [En línea]. Available: http://www.amazon.es/Transcend-TS1GUSDC-Tarjeta-memoria-micro/dp/B001BHW5TK/ref=sr_1_10?s=electronics-accessories&ie=UTF8&qid=1442525792&sr=1-10&keywords=micro+sd+1gb. [Último acceso: 2015].
- [38] «DALCAME. Grupo de Investigación Biomédica,» [En línea]. Available: http://www.dalcame.com/emg.html#.Vf6Q2N_tmkr. [Último acceso: 2015].
- [39] Y. O. Bedoya, «Academia,» [En línea]. Available: <http://www.academia.edu/6398375/EMG>. [Último acceso: 2015].
- [40] «Escola Tècnica Superior d'Enginyeria,» [En línea]. Available: http://ocw.uv.es/ingenieria-y-arquitectura/1-5/ib_material/IB_T3_OCW.pdf. [Último acceso: 2015].
- [41] R. G. Meza, «Academia,» [En línea]. Available: http://www.academia.edu/7419971/Filtrado_Rechaza_Banda_Filtro_NOTCH. [Último acceso: 2015].
- [42] L. C. Pérez, Eficacia del miofeedback en el tratamiento del bruxismo. Trabajo Fin de Máster., 2013.
- [43] F. J. R. Rodríguez, «Homologación de equipos sanitarios. Trabajo para la asignatura BioIngeniería de la ETSI de Sevilla,» 2014.
- [44] J. P. d. I. R. Helices, «Textiles Inteligentes. Trabajo para la asignatura BioIngeniería de la ETSI de Sevilla,».

