

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

Facultad de Ciencias e Ingeniería



**PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ**

Propuesta de un dispositivo para rehabilitación de parálisis

facial por estimulación eléctrica

**TRABAJO DE INVESTIGACION PARA LA OBTENCION DEL GRADO
DE BACHILLER EN CIENCIAS CON MENCION EN INGENIERIA
MECATRONICA**

Presentado por:

LUIS SEBASTIAN DEZA VILA

Asesor:

JUAN MANUEL CHAU DELGADO

Diciembre 2020

Lima – Perú



© 2020, LUIS SEBASTIAN DEZA VILA

Se autoriza la reproducción total o parcial,
Con fines académicos a través de cualquier
Medio o procedimiento, incluyendo la cita
Bibliográfica del documento.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación aborda los problemas que presentan las terapias actuales para la rehabilitación de la parálisis facial; los cuales son, por ejemplo, no conocer la intensidad de corriente adecuada y la excesiva necesidad de un terapeuta. Con la finalidad de solucionar estos inconvenientes, se propone un dispositivo de rehabilitación de parálisis facial por estimulación eléctrica, el cual se desarrolla en el presente trabajo y pretende ser eficaz.

El primer paso para la realización de esta propuesta fue plantear como objetivo general su diseño, además se propusieron como objetivos específicos el diseño de algoritmos para regular la intensidad de corriente, el diseño de la máscara y de la interfaz gráfica de usuario. Los elementos que se diseñaron son el desarrollo de los algoritmos de procesamiento de la intensidad de corriente y voltaje y, además, el diseño de la máscara y la interfaz que observará el usuario; mientras que el diseño de los electrodos ni del microcontrolador no se consideran debido a que no es el propósito del proyecto.

El siguiente paso fue realizar una revisión exhaustiva del estado del arte para la formulación de ideas, por lo que se buscó dispositivos de rehabilitación de la parálisis facial por estimulación eléctrica y máscaras que realicen dicha terapia. Se presentó, además, el marco teórico de los distintos tipos de terapias, así como las corrientes aplicadas en la electroterapia, por lo que se determinó usar corrientes de baja frecuencia e intensidad, ya que, de esta manera, no produciría daños en el usuario. A partir de ello, se realizó una lista de exigencias y una estructura de funciones del dispositivo de rehabilitación.

Estos sirvieron para poder identificar tres conceptos de solución, de los cuales, mediante un análisis técnico-económico, se pudo obtener un concepto de solución ganador. Luego, se pudo realizar un diagrama de operaciones, una arquitectura de hardware y el diagrama de flujo del concepto de solución ganador. Finalmente, se presentaron conclusiones destacadas de esta propuesta.



Agradezco a mis padres y mi hermana por apoyarme para finalizar la presente tesis. A mi asesor Juan Chau por guiarme en el desarrollo de la tesis. Por último, a mis amigas Rafaella y Claudia Cabrel.

Índice de contenido

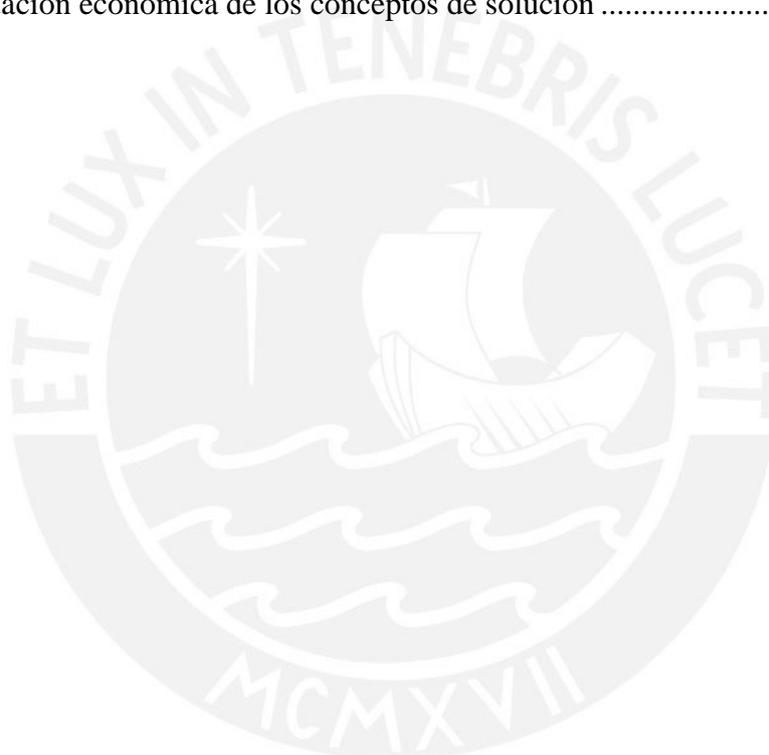
RESUMEN	i
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
ÍNDICE DE ANEXOS	viii
CAPÍTULO 1.....	1
1.1 Problemática.....	1
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 Objetivo general	3
1.2.2 Objetivos específicos.....	3
1.3 Alcances.....	4
1.4 Metodología Aplicada	5
1.4.1 VDI 2221	5
CAPÍTULO 2.....	7
2.1 Parálisis facial	7
2.1.1 Parálisis facial de Bell.....	8
2.1.2 Parálisis facial del ganglio geniculado (Ramsay- Hunt).....	9
2.1.3 Parálisis facial por otitis	10
2.1.4 Parálisis facial traumática.....	11
2.1.5 Parálisis facial tumoral	11
2.2 Tratamientos para la parálisis facial.....	13
2.2.1 Tratamientos supervisados	13
2.2.2 Tratamientos automáticos.....	20
CAPÍTULO 3.....	27
3.1 Lista de requerimientos	27
3.1.1 Función principal.....	27
3.1.2 Requerimientos físicos-mecánicos.....	27
3.1.3 Requerimientos electrónicos, eléctricos y de control.....	28
3.2 Estructura de funciones	29
3.3 Funciones del sistema	30
3.4 Matriz morfológica.....	33
3.5 Conceptos de solución.....	38
3.5.1 Concepto de solución 1	38
3.5.2 Concepto de solución 2	39

3.5.3 Concepto de solución 3	41
3.6 Evaluación técnica- económica.....	43
3.6.1. Evaluación técnica.....	44
3.6.2 Evaluación económica.....	46
CAPÍTULO 4.....	49
4.1 Proyecto preliminar	49
4.2 Arquitectura de hardware	50
4.3 Diagrama de operaciones	51
4.4 Diagrama de flujo.....	53
CONCLUSIONES	55
RECOMENDACIONES.....	56
ANEXOS	57
BIBLIOGRAFÍA	62



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Clasificación de las corrientes	17
Tabla 2.2: Condiciones de diseño del prototipo para estimulación eléctrica.....	20
Tabla 3.1: Matriz morfológica del dominio mecánico.....	33
Tabla 3.2: Matriz morfológica del dominio electrónico y de procesamiento.	35
Tabla 3.3: Evaluación técnica de los conceptos de solución	45
Tabla 3.4: Evaluación económica de los conceptos de solución	46



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Gráfico sobre los tipos de parálisis facial.....	3
Figura 2.1: Diferencias entre parálisis facial central y periférica	8
Figura 2.2: a) Ojo caído, desviación en la comisura labial ocasionada por la parálisis de Bell, b) Rostro sano.....	9
Figura 2.3: Erupción en el oído (varicela zoster).....	10
Figura 2.4: Tipos de otitis	11
Figura 2.5: Causas de parálisis facial traumática.....	11
Figura 2.6: Trayecto del nervio facial.....	13
Figura 2.7: Forma de realizar los masajes para la parálisis facial	14
Figura 2.8: Tratamiento por acupuntura para la parálisis facial	15
Figura 2.9: Vendaje neuromuscular para activar los músculos faciales afectados por parálisis facial.	16
Figura 2.10: Aplicación de la electroestimulación	18
Figura 2.11: Introducción de la droga mediante iontoforesis	18
Figura 2.12: Máquina para la electroterapia por microondas	19
Figura 2.13: Ultrasonido aplicado en la región mastoidea (numero 6) afectada por parálisis facial	19
Figura 2.14: Aparato para la electroterapia.....	21
Figura 2.15: Estimulador facial nervioso.....	22
Figura 2.16: Dispositivo de estimulación transcutánea	22
Figura 2.17: Colocación de los electrodos en el experimento	23
Figura 2.18: Posición de la configuración inicial para la rehabilitación asistida por la máscara robótica.....	24
Figura 2.19: Demostración del funcionamiento del wearable facial robótico	24

Figura 2.20: Máscara de eventos para detectar parálisis facial.....	25
Figura 2.21: Dispositivo de masajes mediante estimulación eléctrica	26
Figura 3.1: Black box del dispositivo de rehabilitación	29
Figura 3.2: Bloque mecánica	30
Figura 3.3: Bloque Energía.....	31
Figura 3.4: Bloque “Sensores”.....	31
Figura 3.5: Bloque Acondicionamiento de señales.....	32
Figura 3.6: Bloque Procesamiento.....	32
Figura 3.7: Bloque Interfaz.....	33
Figura 3.8: Concepto de solución 1	39
Figura 3.9: Concepto de solución 1- Detalles.....	39
Figura 3.10: Concepto de solución 2	40
Figura 3.11: Concepto de solución 2- Detalles.....	41
Figura 3.12: Concepto de solución 3	42
Figura 3.13: Concepto de solución 3- Detalles.....	42
Figura 3.14: Gráfica radial de criterios técnicos.....	45
Figura 3.15: Gráfica radial de criterios económicos.....	47
Figura 3.16: Análisis técnico- económico	48
Figura 3.17: Concepto óptimo	48
Figura 4.1: Diseño preliminar de máscara	50
Figura 4.2: Arquitectura de hardware	51
Figura 4.3: Diagrama de operaciones	52
Figura 4.4: Diagrama de operaciones del sistema	54

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Lista de requerimientos	57
Anexo 2: Estructura de funciones	61



CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Problemática

La parálisis facial se puede definir como una enfermedad de trastorno del nervio facial. De acuerdo con los datos estadísticos de la OMS, la parálisis facial posee una frecuencia de 45 casos por cada 100 000 habitantes a nivel mundial, siendo estos pacientes entre 40-49 años de edad, de los cuales el 70-75% logran una recuperación completa; señalando, además, que el 12% de los pacientes puede continuar con debilidad residual leve, mientras que el 13% moderada y el 4% severa (Tarquino, 2017). En la Figura 1.1 se observa los distintos tipos de parálisis facial, los cuales son los siguientes: parálisis de Bell, Ramsay-Hunt, parálisis facial por otitis, parálisis facial traumática, parálisis facial tumoral, entre otros. De todos estos tipos de parálisis facial, la que se presenta con mayor frecuencia es la parálisis facial de Bell con una incidencia de 23 casos por 100 000 habitantes al año. Usualmente aparece en personas entre los 18 y 50 años. Esta no tiene distinción por ningún sexo y representa, aproximadamente, la mitad de todas las parálisis faciales periféricas existentes.

Existen distintas terapias de rehabilitación para dicha enfermedad como la fisioterapia, acupuntura, electroterapia, entre otras. En la actualidad, el método más usado para la recuperación de la parálisis facial leve es la fisioterapia. Usualmente esta terapia se realiza en los centros de salud con el fin de que el paciente sea asistido por un terapeuta, el cual se encargará de los masajes durante 15 a 20 minutos por sesión para estimular el nervio facial, y, así, evitar las contracciones permanentes de los músculos paralizados. Otro

método de rehabilitación es la acupuntura; esta consiste en la aplicación de punciones en las zonas de la parte afectada por la parálisis por, aproximadamente, 20 minutos durante 4 a 8 sesiones. En caso el paciente presente un caso de parálisis más severo, se aplicará la electroterapia, la cual consiste en aplicar corriente por medio de electrodos en la zona afectada por la parálisis para que se activen los músculos y mejorar las contracciones de la cara. Estas sesiones suelen durar entre 15 a 30 minutos con una intensidad de 10-20 mA.

Lo que destaca a la fisioterapia es su flexibilidad para las necesidades del paciente y la manera en que se aplican los masajes. Además, esta mejora la potencia muscular, logra aliviar el dolor y previene el deterioro físico en la parte afectada por la parálisis. En el caso de la acupuntura, esta logra mejorar velozmente la parálisis facial, ya que las agujas estimulan el músculo del nervio facial para así lograr un aumento en la velocidad de conducción y regeneración nerviosa. La electroterapia, en cambio, calma y previene contracturas musculares, ayuda a regenerar el tejido dañado y previene futuras complicaciones. A pesar de los beneficios de las terapias de rehabilitación, aún existen muchos países que no cuentan con estos tratamientos en la salud pública para la rehabilitación de estos pacientes o su población no dispone de los recursos suficientes para acudir a una clínica privada.

La realización de las terapias ya mencionadas presenta inconvenientes; por ejemplo, si el paciente vive muy lejos, el terapeuta tendría que ir a la casa de este para realizarle la sesión correspondiente, lo cual genera un mayor gasto de movilidad. Además, sabiendo que existe una dependencia del paciente hacia el terapeuta, lo ideal sería que el paciente pudiera aplicarse la terapia a sí mismo solo con recibir las indicaciones del doctor. Por otro lado, si el terapeuta presenta muchas sesiones de terapia en un día, sería complicado que asista a la casa del paciente. Para el caso de la aplicación de la acupuntura se necesitan de especialistas, los cuales no se encuentran fácilmente y son muy costosos. La electroterapia es muy criticada porque si no se aplica la corriente eléctrica adecuada al paciente, esta puede ocasionar pequeños espasmos en la zona afectada lo cual ocasionaría una secuela permanente. Además, dicho tratamiento se empieza después de 20 días de haberse producido la parálisis facial, lo cual provoca músculos faciales tensos en el paciente.

Debido a los problemas mencionados, los cuales son los siguientes: los gastos generados por la movilidad del terapeuta, la falta de especialistas en acupuntura y no aplicar una

corriente eléctrica adecuada en el caso de la electroterapia; se plantea el uso de un dispositivo como alternativa de tratamiento para pacientes afectados por la parálisis de Bell, que sea fácil de utilizar, de bajo costo, no necesite de un especialista, se pueda emplear en cualquier lugar y tenga la corriente adecuada para su uso.

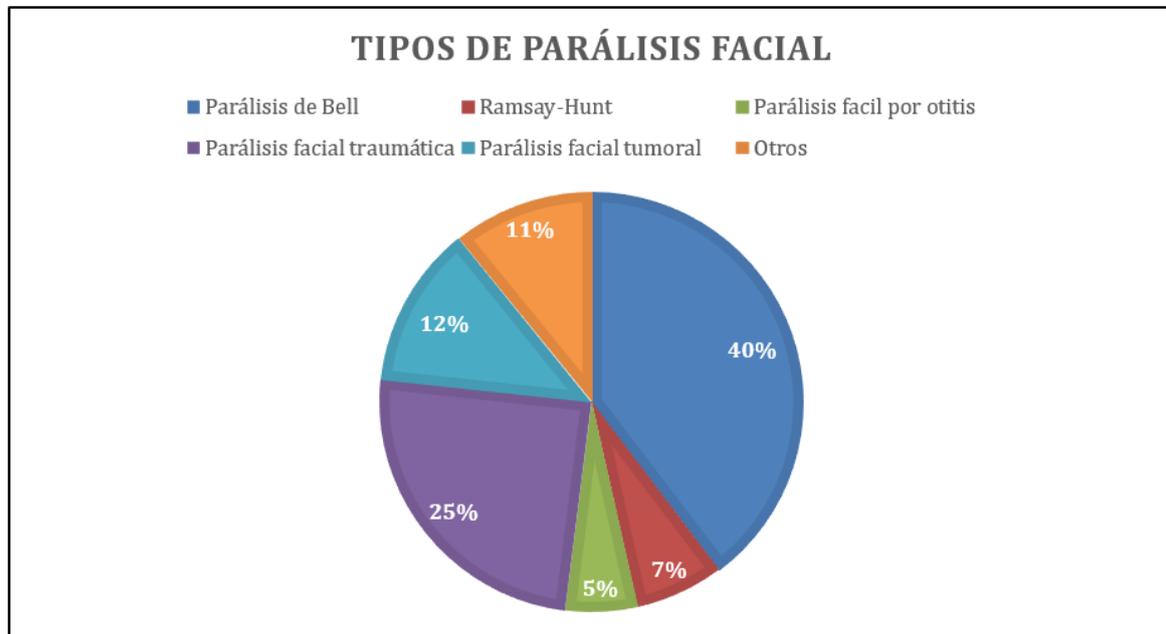


Figura 1.1: Gráfico sobre los tipos de parálisis facial

Fuente: Elaboración propia

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Elaborar una propuesta de solución de un dispositivo de fácil manejo para la rehabilitación de pacientes con parálisis facial por medio de estimulación eléctrica en la zona afectada.

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar una revisión del estado del arte correspondiente al trabajo en mención y con ello definir los requerimientos del dispositivo.
- Determinar la estructura de funciones en los dominios mecánico, eléctrico y de control y desarrollar el concepto de solución óptimo en base a las funciones encontradas y, los requerimientos y limitaciones analizados.

- Definir un prototipo de máscara adaptable, con requerimientos de seguridad, ergonomía, material, entre otros, para la cara humana que contendrá electrodos y se ubicará en la zona afectada por la parálisis facial.
- Definir el sistema para regular la corriente suministrada y monitorear la sesión mediante un microcontrolador.
- Diseñar el software vinculado a información de usuario, de sus terapias, procesamiento y control de la rehabilitación para así observar el tiempo de duración y la intensidad de corriente con la cual fue aplicada.
- Realizar una estimación de costos del diseño terminal del dispositivo de rehabilitación basado en los costos de materiales, costos de servicio y costos de diseño.

1.3 Alcances

El trabajo de investigación considera el diseño del prototipo para la rehabilitación de la parálisis facial mediante estimulación eléctrica. Dicho prototipo estará compuesto por una máscara en la cual se ubicarán los electrodos y un sistema control para que la corriente suministrada sea inocua para el usuario, pero suficiente para su rehabilitación y un indicativo para su respectivo uso. Esta propuesta no contempla el diseño de los electrodos, sino su selección. Si contempla la implementación del prototipo. Su uso será para todo tipo de personas, sea mujer u hombre, que estén afectados por parálisis facial.

1.4 Metodología Aplicada

Debido a la urgencia de desarrollar rápidamente nuevos productos, ha surgido la necesidad de que se estudie y desarrolle esta actividad, por lo que han dado como resultado el desarrollo de diversas metodologías, una de ellas enfocada al diseño de sistemas técnicos y productos es la VDI 221, la cual se utilizará en el presente dispositivo. A continuación, se explicará la aplicación de estas metodologías y recomendaciones.

1.4.1 VDI 2221

Su título es de “Métodos para el desarrollo y diseño de sistemas técnicos y productos”, el cual ha sido seleccionado como la metodología para el diseño del dispositivo debido a la facilidad de ser aplicado y la optimización del diseño en cada una de sus fases, por lo que se exige al diseñador a buscar, constantemente, criterios de evaluación de optimización en el diseño. Cada una de estas fases se explicarán a continuación.

Clarificación y definición de la tarea

En esta etapa se debe identificar la problemática que resolverá el dispositivo a diseñar, así como definir la propuesta que se planeará. Además, se deberá reconocer el alcance y los objetivos principales y específicos del dispositivo a desarrollar. Asimismo, se deberá realizar un estudio del estado de la tecnología de los sistemas similares al que se desea desarrollar con el fin de adquirir ideas de posibles soluciones. Por otro lado, se deberá detallar la lista de requerimientos que tendrá el dispositivo y que deberá ser presentado al interesado. Por último, se deberá desarrollar un plan de trabajo del proyecto.

Determinar las funciones y sus estructuras

Esta etapa es donde se reconoce las entradas y salidas del dispositivo; del mismo modo, se deberán analizar y obtener las funciones esenciales del dispositivo, las cuales se deben representar mediante una estructura de funciones que se dividirán adecuadamente; las particiones comúnmente son el dominio mecánico, electrónico y de control. A partir de la estructura de funciones, se deberán investigar los principios de funcionamiento y realizar las estructuras funcionales, las cuales definirán la forma del dispositivo y proveerá posibles opciones por cada función establecida anteriormente.

Búsqueda de los conceptos de soluciones y sus combinaciones

Esta etapa identifica las posibles soluciones del dispositivo a diseñar mediante el empleo de las estructuras funcionales desarrolladas previamente; es decir, establecer los conceptos de solución del trabajo de investigación. Por último, se identifica el concepto solución óptimo a través de un análisis técnico-económico.

Subdivisión en módulos realizables

En esta etapa se debe separar el concepto solución óptimo en módulos que agrupen los elementos apropiadamente en funciones principales para obtener la estructura modular del sistema.

Configurar los módulos apropiados

Aquí se identificará, a través de la estructura modular, diversos planes preliminares de cada módulo identificado. Luego se seleccionará el óptimo en cada módulo mediante un análisis de funcionalidad y uno técnico-económico.

Configurar el producto total

Llegado a esta etapa se deberá integrar todos los proyectos preliminares por lo que se obtiene una distribución decisiva del proyecto; es decir, el proyecto definitivo.

Elaboración de la documentación de fabricación y su uso

En esta etapa se deberá realizar toda la documentación requerida para su diseño, estos pueden ser, por ejemplo, los planos mecánicos, eléctricos, electrónicos y de control.

CAPÍTULO 2

MARCO TEORICO Y ESTADO DEL ARTE

2.1 Parálisis facial

La parálisis facial suele presentarse debido a lesiones que afecten al nervio facial o que afecten a las fibras que unen la corteza cerebral con el nervio facial. El primer tipo de origen de la parálisis es conocido como parálisis facial periférica, la cual se caracteriza por ser bilateral o unilateral, siendo este último el que se presenta con mayor frecuencia. Además, se define por la incapacidad de mover la frente, parpadear o cerrar los ojos y mostrar la totalidad de los dientes. Incluso, algunos casos presentan daños en la sensibilidad gustativa y con la capacidad de oír. Representa el 80% de las parálisis faciales que afectan a la población, ya que suele ser idiopática (no tener un origen), traumáticas, tumorales, infecciosas, tóxicas, iatrogénicas, neurológicas, vasculares y metabólicas. Los síntomas de parálisis facial periférica son los siguientes: ardor de ojos, lacrimación, imposibilidad de soplar, desviación de la comisura bucal y otalgia.

El segundo se conoce como parálisis facial central que afecta la musculatura inferior de la mitad de la cara y es unilateral. Se conserva el movimiento de las cejas y los ojos, además de no afectar el sentido del gusto. Sus características son que el paciente no es capaz de mover la comisura bucal, lo que ocasiona que se mueva hacia el lado sano. Se produce debido a tumores, accidentes cerebrovasculares, hemorragias, entre otras causas.

En la Figura 2.1 se observa ambas parálisis faciales. Además, se puede apreciar la principal diferencia entre ambas, la cual es que en la parálisis facial periférica no se puede mover la parte de las cejas y los ojos, mientras que en la parálisis facial central los movimientos de dichas partes no se ven afectados.

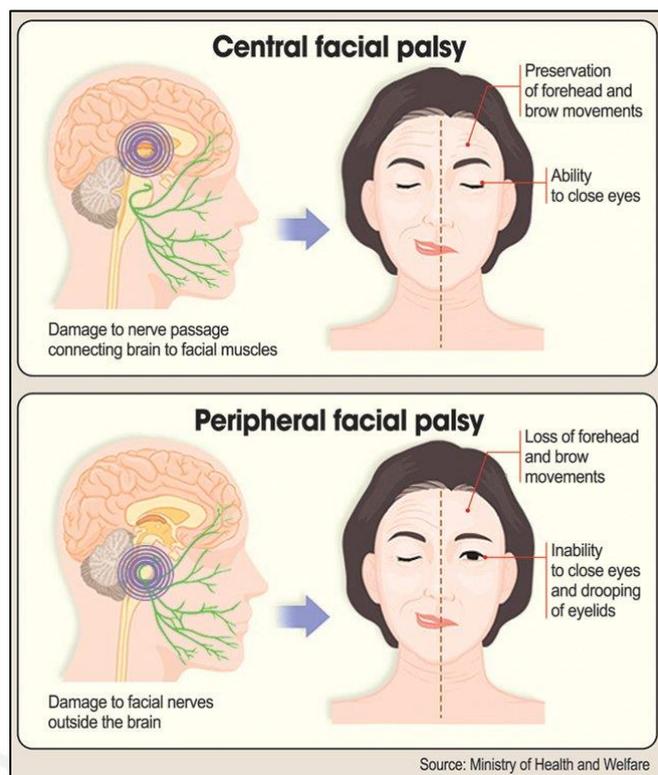


Figura 2.1: Diferencias entre parálisis facial central y periférica

Fuente: Owusu et al.,2015

El origen más común de la parálisis facial es el periférico, siendo la parálisis facial de Bell la que se presenta con mayor frecuencia en los pacientes.

2.1.1 Parálisis facial de Bell

Es el tipo más frecuente de parálisis facial, ya que representa el 75% de todos los casos de parálisis que afectan a las personas. Esta se reconoce porque el paciente presenta dificultad de cerrar algún ojo, fruncir el ceño y desviación en la comisura labial, como se observan en la Figura 2.2, lo que ocasiona un lagrimeo constante e irritación de este ojo, babeo al no poder mover la boca y, en escasas ocasiones, pérdida del olfato.

El origen de la parálisis de Bell es aún desconocido, pero existen varias posibles causas. Algunos especialistas sostienen que esta parálisis se debe a una alteración de la microcirculación que produce una hinchazón del nervio facial. Esto generaría la inmovilidad de la mitad de la cara (Luque, 2000). Otra causa es una infección viral al nervio facial. Esto produce también una hinchazón en el nervio facial, lo cual es la respuesta del sistema inmunológico a esa infección viral (García, 2011). También hay algunos doctores que atribuyen esta enfermedad a causas hereditarias, ya que se ha encontrado que la cuarta parte de los pacientes poseían un familiar que había sufrido parálisis facial en toda su vida

(Ronthal, 2009). Entonces, todas las causas tienen en común que se originan debido a una hinchazón del nervio facial, lo cual originaría la parálisis facial.

En el Instituto Nacional de Ciencias Neurológicas se presentan frecuentemente 804 casos de parálisis facial al año. Esta se presenta de manera gradual las primeras 48 horas: primero con un lagrimeo constante en el ojo, dolores en el tímpano e incluso en la parte afectada. De estos pacientes, solo el 71% recupera sus funciones motoras fáciles de manera normal y el resto tiene pequeñas secuelas como espasmos o problemas de simetría facial. A pesar de que la parálisis de Bell es la más recurrente en los pacientes, también existen otros tipos de parálisis que afectan la vida de las personas los cuales se mencionaran brevemente a continuación.

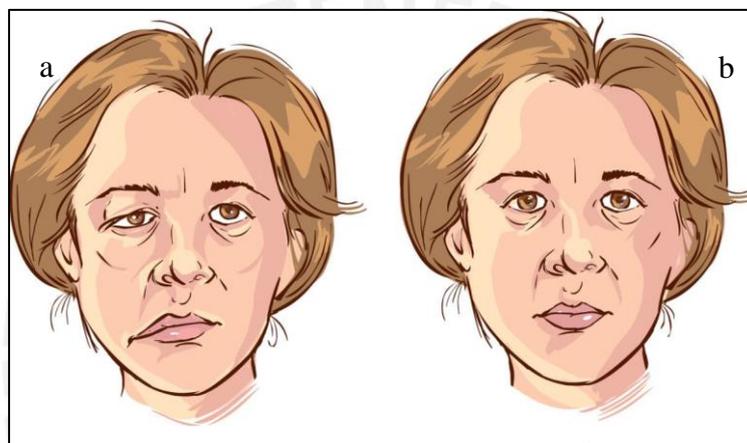


Figura 2.2: a) Ojo caído, desviación en la comisura labial ocasionada por la parálisis de Bell, b) Rostro sano

Fuente: FamilyDoctor, 2019

2.1.2 Parálisis facial del ganglio geniculado (Ramsay- Hunt)

Este tipo de parálisis se origina por la reactivación del virus varicela zoster, el cual produce una pérdida de audición, una erupción vesiculosa en el pabellón auricular que se observa en la Figura 2.3. Esta erupción trae consigo fuertes dolores y sensaciones de quemadura en el oído. Esto genera la parálisis facial y la aparición de un edema en la zona del oído, siendo su principal característica episodios de sordera (Luque, 2000).

El 60% de los pacientes que sufren este tipo de parálisis se recupera sin tener futuras secuelas, pero el pronóstico es más complicado para los ancianos porque les deja sordera parcial o incluso hasta la pérdida de la audición en la zona afectada.



Figura 2.3: Erupción en el oído (varicela zoster)

Fuente: Montague & Morton, 2017

2.1.3 Parálisis facial por otitis

Este tipo de parálisis facial posee tres variantes, los cuales dependen de la intensidad de la otitis y se muestran en la Figura 2.4.

Otitis media aguda. – Esto se produce en pacientes con deficiencias en el acueducto de Falopio, ocasionando una inflamación en el oído y luego en el tejido nervioso. No es tan frecuente que se presente una parálisis facial en el curso de este tipo de otitis. Su recuperación es mediante antibióticos y esta se logra sin secuelas en el caso de que haya ocurrido una parálisis facial.

Otitis media crónica. – Se produce por un quiste que provoca una inflamación en el canal de Falopio. Presenta una inflamación en el nervio, por lo cual es necesario una operación quirúrgica para descomprimirlo. En la mayoría de los casos suele ocasionar pequeñas sorderas o disminución en la capacidad auditiva.

Otitis externa maligna. – Este tipo de otitis se presenta en ancianos con diabetes, lo cual produce una necrosis del cartílago auricular. Esto genera una parálisis facial severa que va a necesitar de la descompresión del nervio facial y, así, no provocará secuelas como una sordera total en el lado donde se generó la parálisis.

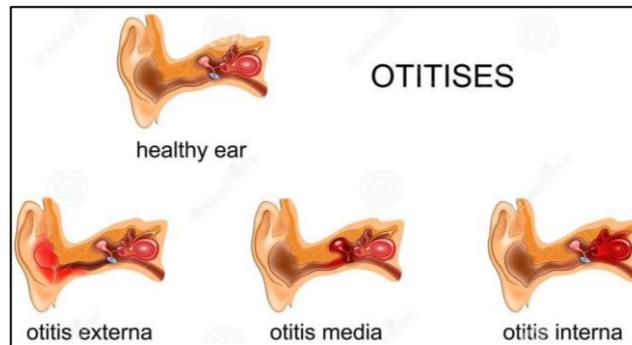


Figura 2.4: Tipos de otitis

Fuente: Galan, 2018

2.1.4 Parálisis facial traumática

La parálisis facial traumática se debe a fracturas de algún hueso de la cara, desgarros del nervio o golpe de una esquirla ósea sobre el nervio, esto se aprecia en la Figura 2.5. Esto ocasiona que aparezca la parálisis facial en el 50% de los casos. Debido a que en su mayoría son traumatismos encefalocraneanos, ocurren parálisis completas, lo cual requerirá un tratamiento quirúrgico para descomprimir el nervio afectado o se deberá colocar un injerto nervioso.

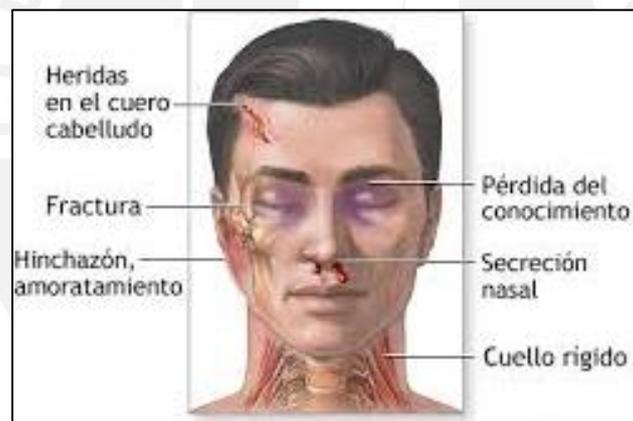


Figura 2.5: Causas de parálisis facial traumática

Fuentes: MedlinePlus, 2017

2.1.5 Parálisis facial tumoral

Esta parálisis se debe al desarrollo de un tumor sobre el trayecto del nervio facial que se observa en la Figura 2.6, lo cual provoca una parálisis progresiva. Dichos tumores pueden ser benignos o malignos.

1) Tumores benignos

Estos tumores son: neurinoma del nervio facial y hemangioma. La diferencia entre estos dos es que el primero se presenta en el nervio facial y no se puede diagnosticar a tiempo; este tipo de tumor produce la parálisis. El segundo se presenta cuando se agrupan los vasos sanguíneos en una zona del cuerpo, generalmente en el rostro; esta suele desaparecer rápidamente y raras veces genera parálisis facial.

Neurinoma del nervio facial. - Este tumor puede originarse, sobre todo, en el trayecto nervioso, lo cual afecta a la porción timpánica y al ganglio geniculado. Además de la pérdida de la capacidad auditiva, también se puede generar una parálisis facial progresiva. Esta parálisis suele confundirse con la parálisis de Bell por lo que una radiografía ayuda a descartar si es a causa de un tumor o un virus.

Hemangioma. – Este tumor afecta en la región del ganglio geniculado. Es poco frecuente que ocurra este tipo de tumor.

2) Tumores malignos

Estos son neurinoma del acústico y de la parótida. La diferencia entre estos dos tipos de tumores es que en la neurinoma del acústico demora años en presentar problemas como la pérdida de audición. En cambio, en el tumor de la parótida no existe una causa concreta con la que empiezan a crecer debajo de las orejas.

Neurinoma del acústico. - Este tipo de tumores son los más frecuentes y raramente presentan parálisis facial, ya que en la mayoría de los casos se presenta como espasmos en la mitad del rostro o parpadeos constantes. Se caracteriza por ser voluminoso y su origen es en el interior del conducto auditivo interno. Requiere tratamiento quirúrgico.

Tumores de la parótida. – Es la causa más frecuente de parálisis facial tumoral. Se puede tratar de un carcinoma epidermoide del pabellón auditivo que se presenta como herida. Se requiere un tratamiento quirúrgico para exterminar el tumor, lo cual implica un sacrificio del nervio afectado (Darrouzet, 2002).

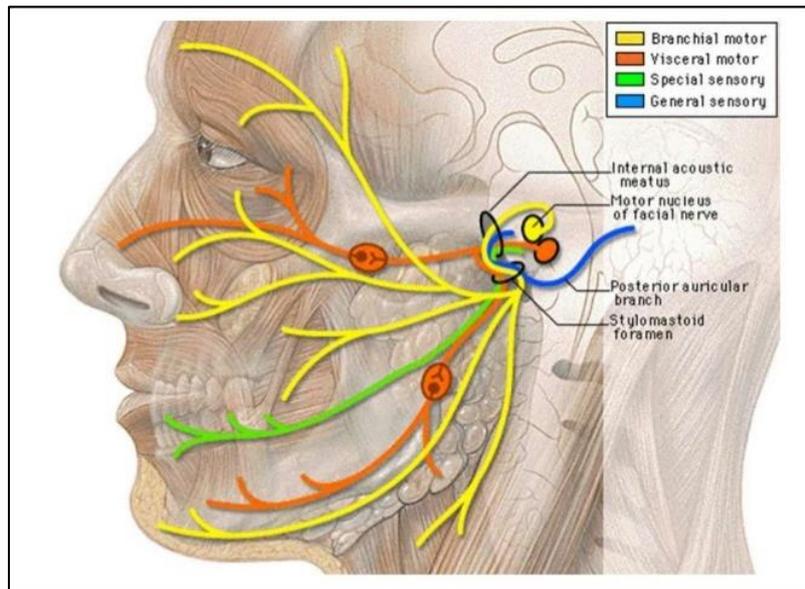


Figura 2.6: Trayecto del nervio facial

Fuente: NEUROANATOMY,2017

Estos son los tipos de parálisis faciales más comunes que ocurren en las personas, los cuales perjudican su salud dependiendo de la gravedad de la parálisis. A continuación, se mencionarán tratamientos para mejorar esta condición y así no dejar secuelas.

2.2 Tratamientos para la parálisis facial

Existen varios tratamientos para combatir esta condición que afecta al nervio facial. Se mencionarán los más importantes y los más usados. Así mismo, se separarán si requieren de un especialista o no.

2.2.1 Tratamientos supervisados

Estos tratamientos son los más usados, ya que no requieren de computadores o equipos especializados. A continuación, se explicarán en qué consisten y como ayudan en la rehabilitación del paciente.

Fisioterapia. – Es la terapia física. Esta es la más utilizada para el tratamiento de la parálisis facial. Consiste desde aplicar masajes hasta ejercicios físicos que se le recomienda realizar al paciente cuando este se encuentre en casa. Esta terapia cuenta con 3 etapas para observar la rehabilitación del paciente.

a) Etapa inicial

En esta etapa, la capacidad motriz en la zona afectada es limitada, por lo que un masajista asistirá al paciente con sus ejercicios. Se le pedirá al paciente que utilice su dedo para

levantar la ceja por unos segundos. Después de eso, el terapeuta procederá con los masajes circulares en el rostro, labios y párpados. Finalmente, se le pedirá al paciente que realice los siguientes ejercicios, como se observa en la Figura 2.7, por su cuenta y con la supervisión de su masajista:

Primero se va a contraer los labios como si se fuera a dar un beso, después se dilata los orificios de la nariz hasta levantar el labio superior y enseñar los dientes. Se expulsa aire lentamente, como soplando por una cañita y se amplía la sonrisa para dirigir la comisura labial hacia afuera y atrás. Luego se aprieta los dientes lo más fuerte posible hasta arrugar el mentón, elevar las cejas, juntar las cejas y finalmente cerrar los ojos.



Figura 2.7: Forma de realizar los masajes para la parálisis facial

Fuente: Fisioterapia Magallanes, 2015

b) Etapa de facilitación

En esta etapa, el paciente va recuperando el movimiento de la zona afectada, por lo que los movimientos son activos y coordinados con el lado sano. El paciente moverá ambos lados de la cara por igual; en caso de que se le dificulte, se ayudará con el dedo índice para lograr la simetría esperada y pronunciará las vocales de una manera exagerada para ejercitar el músculo orbicular de los labios.

c) Etapa de relajación

En esta última etapa se realizarán contracciones en la cara mediante la ayuda del terapeuta

y, en particular, a la zona afectada que durarán de 3 a 5 segundos. Luego se procederá a realizar los masajes de la etapa inicial para la relajación de los músculos afectados.

1) Acupuntura. – Es una técnica de la medicina local china que ayuda en gran medida a la rehabilitación de la parálisis facial. Este tratamiento regula el paso de la sangre en las venas y aumenta la resistencia del cuerpo contra los factores patogénicos. Incrementa la excitación del nervio, lo cual promueve una regeneración de las fibras nerviosas. Esto mejora las contracciones musculares y la circulación sanguínea. La acupuntura consiste en la colocación de agujas muy finas en la piel, como se muestra en la Figura 2.8; en este caso, en la zona afectada por la parálisis facial para facilitar la recuperación de los músculos paralizados. Este procedimiento consiste en lo siguiente:

- *Inserción de agujas.* – Se introducirán agujas finas para no causar molestias al momento de insertarlas en el paciente. Se utilizan de 5 a 20 agujas y se introducen a distintas profundidades.
- *Manipulación de agujas.* – El acupunturista moverá las agujas gradualmente en la zona donde fue introducida.
- *Extracción de agujas.* – Las agujas permanecerán durante 10 a 20 minutos mientras continua la terapia. Se extraen con lentitud para que el paciente no sienta dolor.



Figura 2.8: Tratamiento por acupuntura para la parálisis facial

Fuente: MayoClinic, 2020

2) Vendaje neuromuscular. – Es un método terapéutico poco conocido para el tratamiento de la parálisis facial, el cual consiste en vendar la zona afectada con esta cinta que ayudará a relajar las fibras musculares para disminuir las contracturas y facilitar la estimulación en la cara. También permite reforzar la articulación o el músculo lesionado. Se observa en la

Figura 2.9 que el vendaje fue aplicado y las líneas muestran hacia donde se debe realizar el masaje para activar los músculos afectados por la parálisis facial.



Figura 2.9: Vendaje neuromuscular para activar los músculos faciales afectados por parálisis facial.

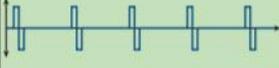
Fuente: Avendaño-Sosa, 2015

3) **Electroterapia.** – Esta terapia consiste en la aplicación de corrientes eléctricas para tratar varias lesiones, entre ellas la parálisis facial. Se debe aplicar en el punto motor nervioso facial para así recuperar el movimiento de la parte afectada. (Carpio, 2012). Esto logra liberar una reacción en el organismo debido a la electricidad, la cual provocará la recuperación de la lesión.

Existen distintas formas de aplicar la electricidad para tratar las enfermedades, las cuales se describirán a continuación:

- **Electroestimulación.** – Según la Asociación Americana de Terapia Física, la aplicación de la electroestimulación en las zonas de dolor del músculo del nervio facial o cualquier otro músculo se llama electroestimulación transcutánea (TENS en inglés), la cual es segura, barata y fácil de usar (Sluka, 2003). Se aplica a diferentes frecuencias, intensidades y duración de los pulsos de estimulación. En la Tabla 2.1 se muestra la clasificación de la corriente eléctrica según su estado y dirección. La corriente galvánica es la que se recomienda usar en músculos faciales, ya que usa corrientes eléctricas ligeras interrumpidas que consiste en iones positivos y negativos para estimular partes locales del músculo.

Tabla 2.1: Clasificación de las corrientes

Estado	Dirección	Corriente	Propiedades Indicaciones	Ventajas Inconvenientes
Estado constante	Unidireccional	Continua o galvánica 	Baño galvánico: tratamiento de la hiperhidrosis	Electrólisis: riesgo de quemaduras químicas Interés restringido por el protocolo riguroso: intensidad y duración limitadas
		Impulsos aislados 	Electrodiagnóstico y electroestimulación del músculo desnervado	Contraindicación: piezas metálicas incorporadas Sensación de desagrado: irritación galvánica
Estado variable	Bidireccional	Baja frecuencia: <150 Hz Muy baja frecuencia: <10 Hz 	Electroestimulación analgésica y excitomotriz	Inocuidad Eficacia Indicaciones ampliadas Sensación de bienestar

Fuente: Crépon, 2008

La corriente galvánica es la que se recomienda usar en músculos faciales, ya que usa corrientes eléctricas ligeras interrumpidas que consisten en iones positivos y negativos para estimular las partes locales del músculo.

De estos tipos de corrientes, dependiendo el efecto que se desee aplicar el paciente, existen tres tipos que se usan en la electroestimulación.

- De baja frecuencia e intensidad: Se usan entre 50-100 Hz con una duración de impulso menor a 0.1 milisegundo. Su uso es de analgésico.
- Muy baja frecuencia e intensidad elevada: Se encuentra entre 2-8 Hz. Se usa en la excitomotriz por sacudidas elementales con una duración de impulso de 0.1- 0.6 milisegundo o para la liberación de endorfinas (técnica de iontoforesis) con duración de impulso entre 0.2- 2 milisegundo.
- De baja frecuencia e intensidad suficiente para tetanizar: Su uso es de 20-80 Hz con duración de impulso de 0.1-0.6 milisegundo. (Crépon, 2008)

Estas corrientes para la electroestimulación se caracterizan por ser más eficaces, confortables y seguras. El objetivo de esta técnica es restaurar la función de los nervios faciales, inmovilizaciones corporales, fortalecimiento muscular y contracturas, mediante los pulsos eléctricos y se logra una recuperación total en el 80% de los casos. Se observa en la Figura 2.10 la forma en que se colocan los electrodos.



Figura 2.10: Aplicación de la electroestimulación

Fuente: Ademto,2018

- **Iontoforesis.** – Esta técnica consiste en utilizar la corriente continua para introducir pequeñas concentraciones de drogas farmacéuticas como se observa en la Figura 2.11. Es importante que la polaridad del electrodo coincida con la polaridad del medicamento. De esta forma, evita el dolor ocasionado por lesiones musculares. No es muy utilizado debido a que los farmacéuticos actuales son más efectivos aliviando el dolor.

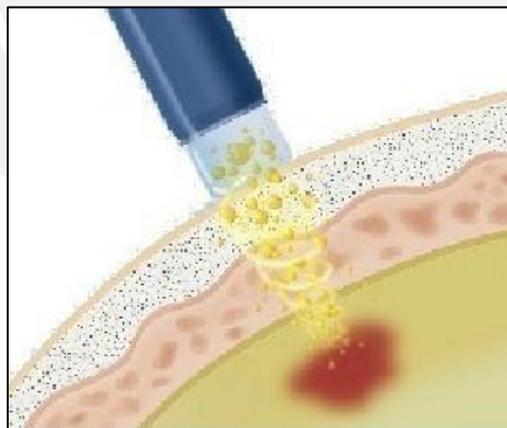


Figura 2.11: Introducción de la droga mediante iontoforesis

Fuente: Nieto, 2010

- **Microondas.** – Este tipo de electroterapia se usa para proporcionar calor en los tejidos más profundos. El rango de frecuencia con la que se aplica es de 915-2456 Mhz. Es usado debido a que las ondas microondas se absorben en los tejidos con alto contenido de agua y son más fáciles de concentrar en la zona de aplicación. La aplicación de la

intensidad del calor deberá ser controlada por el especialista y consultándole al paciente cuánto calor puede soportar. No es tan usado en la parálisis facial, ya que puede ocasionar quemaduras internas debido a las altas frecuencias aplicadas.



Figura 2.12: Máquina para la electroterapia por microondas

Fuente: THERMOTEK

- Ultrasonido.** – Usa un gel conductor para poder penetrar en las capas más profundas del tejido muscular. El gel aplicado en la zona afectada permite que pueda propagarse y transmitir un calor profundo que actúa como un antiinflamatorio y se puede aplicar en la región mastoidea, que es la parte trasera del pabellón auricular. Se aplica por 5 minutos durante 14 días. (Quinn, 2013). Las frecuencias que se usan en este tipo son de 1-3 Mhz. Existe poca evidencia que esta técnica ayuda a aliviar dolores, cicatrizar heridas musculares y reforzar tejidos dañados. (Valma, 2001)



Figura 2.13: Ultrasonido aplicado en la región mastoidea (numero 6) afectada por parálisis facial

Fuente: Regiones anatómicas de la cabeza

Como se puede observar, en todos estos tratamientos se requiere de un especialista y, en los casos de electroterapia, máquinas muy grandes y costosas para el tratamiento de rehabilitación de la parálisis facial. A continuación, se mostrarán los tratamientos automáticos.

2.2.2 Tratamientos automáticos

Estos tipos de tratamientos no requieren la presencia activa de un terapeuta para que guíe al paciente, sino que solo se le indicará las instrucciones que debe realizar para que lo realice por su cuenta.

1) Prototipos modulares de estimulación eléctrica para la parálisis facial

Se desarrolló un prototipo para la estimulación eléctrica con la finalidad de optimizar los procesos de rehabilitación sin la necesidad de un terapeuta. Según el trabajo realizado por Quintero, la energía electro-terapéutica es generada por fuentes de corriente que consisten en formas de onda de pulsos rectangulares bifásicos a los que se puede ajustar el ancho, la frecuencia y la intensidad. Para asegurar la seguridad eléctrica del paciente, el equipo es alimentado por baterías de 3.7V recargables. Las formas de onda y los parámetros terapéuticos están controlados por un microcontrolador Arduino, en el cual se desarrolló un programa que permite seleccionar entre terapia pasiva y activa, determinar la duración de la fase, frecuencias de los pulsos que se aplicarán, entre otros parámetros que se observan en la Tabla 2.2. La diferencia de este equipo de los disponibles en el mercado para esta aplicación específica es su diseño, el cual posee cuatro canales independientes dirigidos a la terapia pasiva que pueden estimular más de un paquete neuromuscular a la vez y un canal adicional para terapia activa con el cual el terapeuta puede aplicar dinámicamente la energía eléctrica mediante el movimiento del electrodo activo en la superficie del rostro. Además, el paciente podrá elegir el tiempo de la terapia que puede ser 5, 10 o 15 minutos dependiendo de su mejoría o las indicaciones de un médico. Las fuentes de corriente entregarán pulsos bifásicos con amplitud ajustable de 0 hasta 30 mA pico (Quintero, 2015).

Tabla 2.2: Condiciones de diseño del prototipo para estimulación eléctrica

Condiciones de diseño	Especificaciones
<i>Forma de onda bifásica simétrica de pulsos</i>	No produzca reacciones electroquímicas debajo de los electrodos.

<i>Máxima corriente pico a pico de estimulación</i>	60 mA para evitar quemaduras debido a grandes intensidades de corriente.
<i>Control de fase</i>	100 a 300 uS.
<i>Ajustar la cantidad de pulsos por segundo requerida</i>	20 y 200 pulsos por segundo.
<i>Base de datos</i>	Parámetros terapéuticos para llevar un registro en cada sesión terapéutica.

Fuente: Elaboración propia

Sobota realizó un dispositivo que también usa baterías y no requiere de la asistencia de un terapeuta, aunque sí el conocimiento del uso del dispositivo. Sobota realizó un aparato que se encarga de aplicar corriente eléctrica a distintos tejidos biológicos como la piel, hueso y el músculo facial. Este sistema portátil se alimenta con baterías o con un cable conectado a una fuente de alimentación. El conjunto de electrodos posee por lo menos un electrodo positivo y uno negativo para generar corriente eléctrica a través del tejido. El controlador podrá modificar las funciones de la señal como la amplitud, frecuencia de pulso y la frecuencia de barrido para tener distintas corrientes eléctricas en la rehabilitación. Lo que lo hace único es su brazo extensible que puede mover el conjunto de electrodos, como se observa en la Figura 2.14, primero puede estar contraído y luego estirar el conjunto de los electrodos.

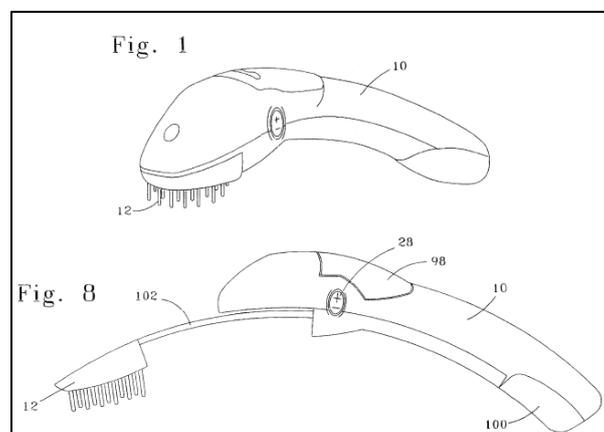


Figura 2.14: Aparato para la electroterapia

Fuente: Sobota, 2001

Llanos continuó con el desarrollo de dispositivos móviles como el estimulador de nervio facial, el cual es un dispositivo similar a un audífono que se usa en el tratamiento de pacientes con problemas severos o agudos de parálisis facial de Bell y otros problemas faciales nerviosos. Este dispositivo es cómodo de usar, ya que uno de sus extremos se coloca en el oído y el electrodo se sitúa en la boca. De esta manera, el sistema entrega pequeños estímulos eléctricos al área del oído y a la mandíbula, lo cual es beneficioso en contraste con otros dispositivos que no envuelven parte del oído, ya que se concentran más en el rostro afectado por la parálisis.

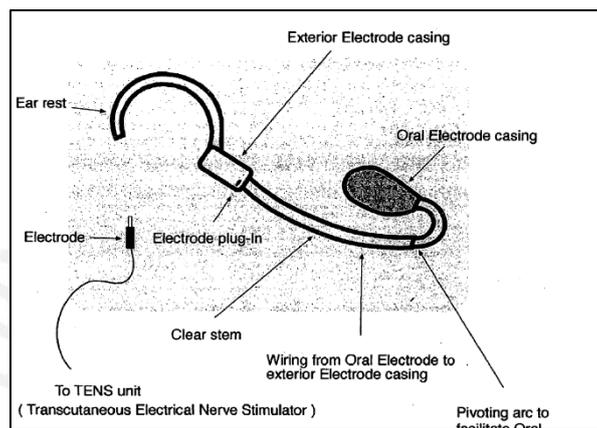


Figura 2.15: Estimulador facial nervioso

Fuente: Llanos, 2001

Otro trabajo realizado fue por Gregory, quien realizó un dispositivo que utiliza corriente continua constante y sin pulsos para estimular los nervios. Se energiza a través de electrodos de bobinas. El dispositivo incluye un interruptor para abrir o cerrar el circuito. Estos electrodos de bobina se colocan en la frente arriba de los ojos que se encuentran cerca a los nervios faciales y se aplica la corriente transcutánea por la frente, por lo cual ayudaría al ojo que fue afectado por la parálisis.

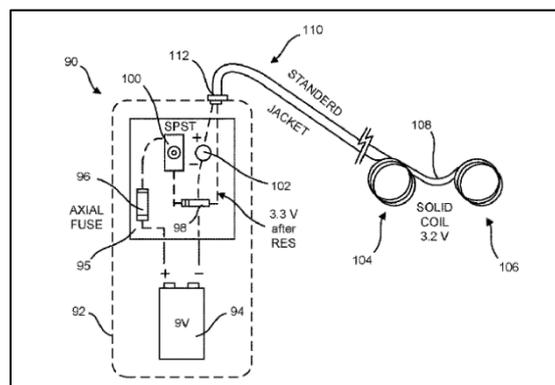


Figura 2.16: Dispositivo de estimulación transcutánea

Fuente: Gregory et al, 2017

Los trabajos descritos anteriormente dejaban de lado al ojo, ya que también es una parte afectada por la parálisis facial, por lo que la estimulación eléctrica también podría ser aplicada en el parpadeo y otros movimientos faciales para ayudar en el tratamiento de la parálisis facial. Para lograr el objetivo de mover el ojo, se colocó 2 electrodos en la zona paralizada, debajo de las ramas de nervio facial como se observa en la Figura 2.17. Con este experimento se logró parpadear el ojo con una corriente de 4.6mA, un ancho de pulso de 0.7 ms y una frecuencia de 100 a 150 Hz.

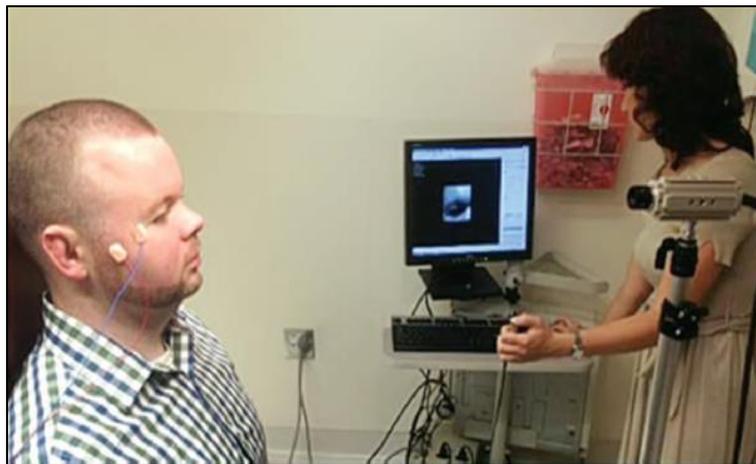


Figura 2.17: Colocación de los electrodos en el experimento

Fuente: Frigerio, 2015

2) Prototipos tipo máscara ajustables a la cara de la persona

En un primer trabajo realizado por Jayatilake, se desarrolló una máscara robótica que manipula la piel a través de cables no invasivos, los cuales poseen tiras y cintas transparentes que serán jaladas por un mecanismo para mejorar la expresividad de la cara. Para lograr una expresión facial natural, esta máscara robótica sigue la anatomía humana basada en la selección de los músculos a mover. Esta máscara se realizó con el fin de que sea ajustable dependiendo de la forma y el tamaño de la cabeza humana. Se incluyó un sensor de imagen de profundidad para evaluar la dinámica de las expresiones faciales. Este dispositivo puede reducir la asimetría de la sonrisa de la cara y manipular las expresiones faciales para lograr expresiones faciales naturales.

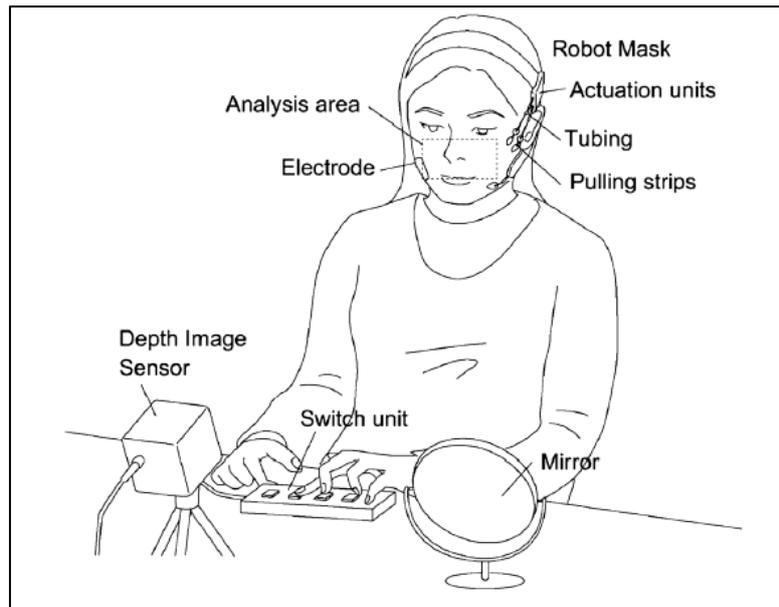


Figura 2.18: Posición de la configuración inicial para la rehabilitación asistida por la máscara robótica

Fuente: Jayatilake, 2014

A comparación con el trabajo realizado por Jayalike que no ejercita el movimiento del ojo, Kozaki desarrollo un dispositivo tipo “wearable” que ayuda a parpadear o cerrar el ojo afectado por la parálisis facial, además que ejercita el músculo y ayuda en la rehabilitación de este. Este robot posee un soporte de silicio, adecuado para el movimiento de parpadeo del ojo debido a su deformación, el cual se activa al realizar un guiño con el ojo sano. Este movimiento del ojo se controla mediante de rotación en el lado afectado. En la Figura 2.19 se observa el procedimiento de este dispositivo para el parpadeo y su funcionamiento. Se observa que primero estaba en una posición normal, luego se detecta el parpadeo con el ojo sano, se cierra el otro ojo con el mecanismo y finalmente lo vuelve a abrir.

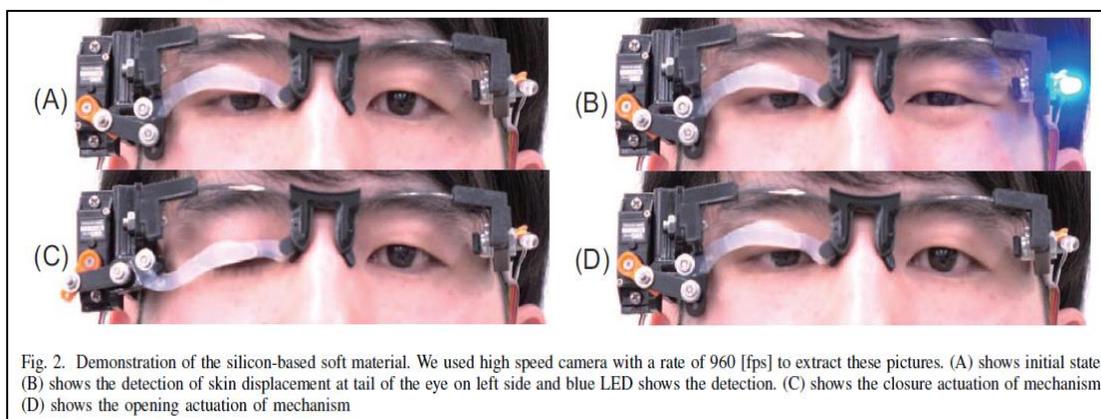


Fig. 2. Demonstration of the silicon-based soft material. We used high speed camera with a rate of 960 [fps] to extract these pictures. (A) shows initial state. (B) shows the detection of skin displacement at tail of the eye on left side and blue LED shows the detection. (C) shows the closure actuation of mechanism. (D) shows the opening actuation of mechanism

Figura 2.19: Demostración del funcionamiento del wearable facial robótico

Fuente: Kozaki, 2016

En otro trabajo se tuvo la idea de analizar la superficie facial para saber si el paciente se encontraba afectado por parálisis facial. Esta máscara ayuda a los doctores a vigilar la recuperación de la parálisis facial. Dicha solución consiste en utilizar una arquitectura de eventos (EDA) para detectar la parálisis de Bell, sus síntomas y la manera en la que afecta físicamente en la zona dañada. Esta máscara está compuesta por sensores conectados a terminaciones nerviosas faciales, para que envíe señales EMG (electromiografía) a una computadora con una red de procesamiento de eventos que será analizada por el doctor. Después, se le enviará al paciente por medio de su teléfono celular si es que fue detectado con parálisis facial. La ventaja de esta solución es que se usa cuando el paciente empieza a sospechar que padece de parálisis facial, de tal manera que, se colocará esta máscara, y así se podrá saber si posee parálisis de Bell o no.

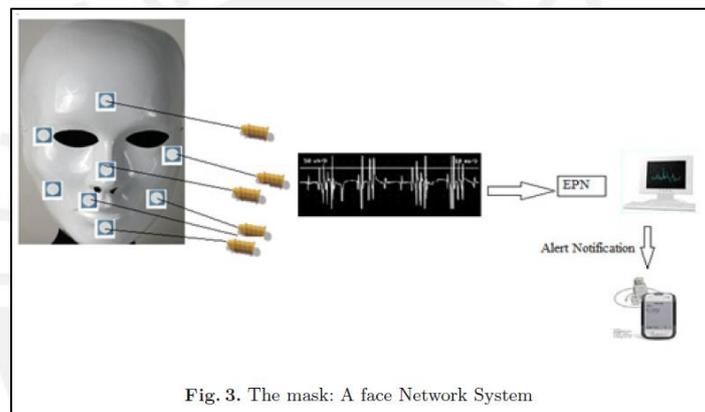


Fig. 3. The mask: A face Network System

Figura 2.20: Máscara de eventos para detectar parálisis facial

Fuente: Bouali, 2015

En el mercado mundial, existe un sistema que ayuda a la rehabilitación de la parálisis facial. Los demás se especializan en productos de belleza y pueden confundirse al momento de adquirir uno.

3) Unidad masajeadora AccuMed AP212 TENS de pulso electrónico portátil

Es un dispositivo comercial para uso doméstico que ayuda a aliviar dolores, promueve la circulación de la sangre y mejora la calidad de sueño. Esta tecnología posee 16 modos de uso, entre los que importan para la rehabilitación de la parálisis facial, se encuentra la estimulación eléctrica. Esta logra la estimulación del nervio dañado sin la necesidad de un medicamento o cualquier otra técnica. Se puede ajustar el tiempo de 10 minutos a 1 hora, dependiendo de lo que desee el usuario y las recomendaciones del terapeuta. Este dispositivo

cuesta 118 soles, por lo que es accesible para la mayoría de las personas en Perú.



Figura 2.21: Dispositivo de masajes mediante estimulación eléctrica

Fuente: Accumed



CAPÍTULO 3

DISEÑO CONCEPTUAL

En el presente capítulo, se mostrará la lista de requerimientos que se deberán desempeñar para la realización del dispositivo y una estructura de funciones, en la cual se precisarán los procesos internos del proyecto. Después, se presentarán los diferentes tipos de tecnologías que se poseen actualmente para poder realizar el dispositivo, mostrando, así, una comparación entre las distintas elecciones existentes.

3.3.1 Lista de requerimientos

La presente sección describirá el dispositivo mecatrónico a diseñar. De esta manera, se realizará una lista de requerimientos en la cual se plantearán exigencias, las cuales se deben cumplir obligatoriamente, y deseables, los cuales se cumplirán ocasionalmente, del sistema de rehabilitación en las siguientes líneas.

3.1.1 Función principal

Aplicar las estimulaciones eléctricas para la rehabilitación del paciente afectado por parálisis facial. Además, se brindará información sobre la terapia y la duración de esta.

1.1.2 Requerimientos físicos-mecánicos

Las dimensiones de la máscara deben estar en un rango de 52- 60 cm de perímetro asemejando el contorno de una cabeza adulta, ya que según la OMS es el tamaño del contorno promedio de la cabeza y según el Ministerio de Trabajo de España, la máscara no debe poseer un peso mayor

a 450 g con el fin de no incomodar o provocar fatiga en el paciente. El dispositivo no presentará movimiento, aunque será regulable en algunas zonas para la comodidad de las distintas formas de cabeza del ser humano; además, la ubicación de los electrodos estará fija en la máscara para que la terapia se concentre en los nervios afectados de la cara de la persona. También, tendrá un diseño para soportar posibles accidentes y para que su funcionamiento no se vea afectado, deberá ser diseñado para trabajar bajo las condiciones climatológicas de la costa peruana, en particular de Lima: una altitud de 161 m.s.n.m, una temperatura de 14 a 28 °C y 85% de humedad. Luego, se deberá revisar que los electrodos no se hayan movido después de la sesión con un paciente y limpiar la máscara para el uso del próximo paciente. Finalmente, los componentes se deben buscar en tiendas locales para así poder poseer un costo aproximado del dispositivo y poder comparar con productos ya realizados.

1.1.3 Requerimientos electrónicos, eléctricos y de control

El sistema será energizado con baterías de 3.7V y se controlará la corriente con fuentes de corriente o voltaje para así evitar dañar al paciente y la batería tendrá una duración mínima de 15 minutos, ya que es lo que dura la terapia recomendada por un especialista. Asimismo, las señales de entrada serán la información de la terapia, señal de encendido/apagado, señal de inicio, pulsación de emergencia, señal de parada y la corriente eléctrica, esta última se controlará en función del tiempo. Así mismo, según Crepón, la corriente debe estar en una frecuencia entre 20 a 80 Hz, ya que este es el rango con el que se realiza la electroterapia. Las señales de salida serán las siguientes: duración de la terapia, estado de la batería y estado de la terapia. Estas señales se mostrarán en una pantalla para que así el paciente pueda saber si se cumplió el tiempo indicado de la terapia, así como su estado. Además, se enviará la señal de inicio vía cables del microcontrolador a la máscara para empezar la terapia. La señal de corriente será regulada en el microcontrolador, controlando, de esta manera, su frecuencia e intensidad, con el fin de enviarlo a los electrodos y realizar la terapia correctamente. Después de terminar con la terapia, se realizará el procesamiento del estado de la terapia y cuánto tiempo fue aplicado, para mostrarlo en la interfaz gráfica. Se tendrá un software de protección para que, así, no admita valores fuera de los permitidos en la corriente de aplicación. El rango es de 0 a 30 mA y se usarán sensores de corriente y voltaje para poder controlar dichos valores, así mismo, se tendrá leds que indicarán si se logró encender el dispositivo, así como una parada de emergencia en caso pueda fallar. Incluso, se busca que la persona se encuentre protegida contra riesgo eléctrico considerando la norma IEC 60601-1:2005+AMD1:2012 Medical electrical equipment.

3.2 Estructura de funciones

Se va a utilizar un Black Box como primer paso para el diseño de un sistema con entradas y salidas sin el previo conocimiento de sus relaciones. Por lo tanto, debido a que se tienen las mismas exigencias, se usará un Black box que cumpla con la lista de requerimientos mencionados anteriormente.

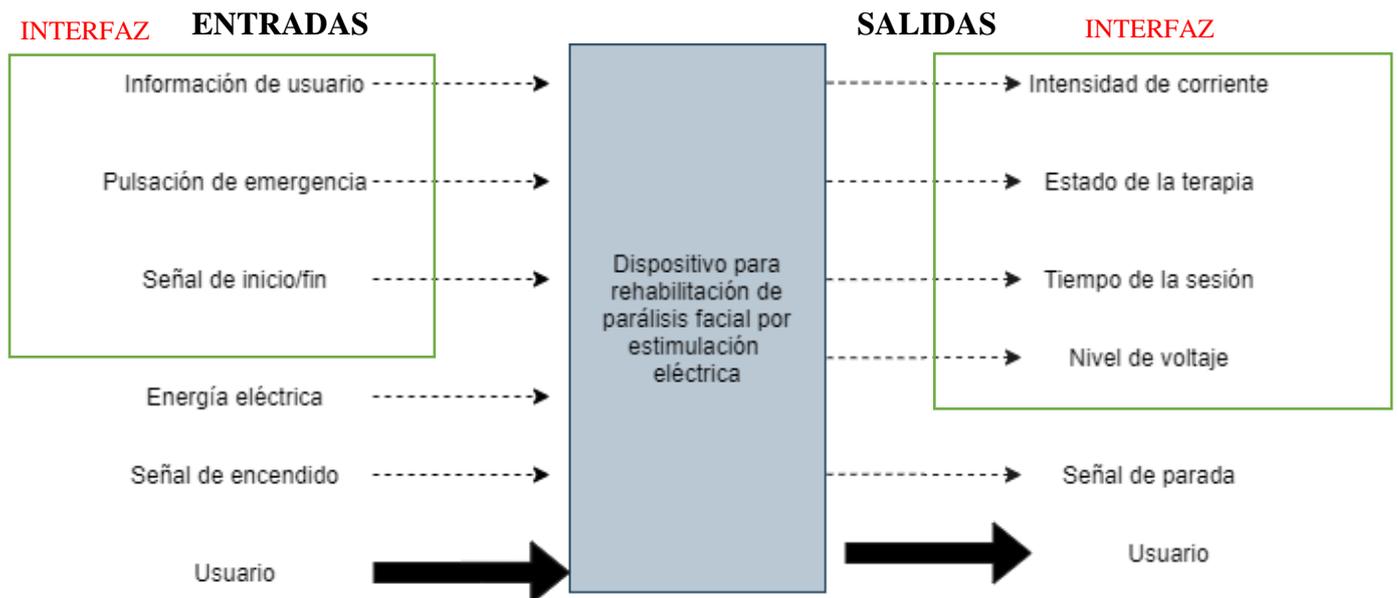


Figura 3.1: Black box del dispositivo de rehabilitación

Fuente: Elaboración propia

Las entradas y salidas del BlackBox son las siguientes:

Las entradas del dispositivo son: los datos que ingresará el usuario para conocer su sensibilidad a la corriente, la pulsación de emergencia que activará cuando el sistema falle o no le quede batería suficiente, señal de inicio/fin que permitirá al paciente realizar la rehabilitación mediante la interfaz; la energía eléctrica se almacenará en las baterías y también se controlará para poder brindar la intensidad de corriente al paciente. Asimismo, se tendrá una señal de encendido que alimentará al dispositivo para poder esperar a que se encienda y se tendrá al paciente que se colocará la máscara con la finalidad de sentir la estimulación eléctrica y, así, lograr rehabilitarse.

Las salidas del dispositivo son: la intensidad de corriente que se requerirá para realizar la terapia. Además, esta intensidad se le mostrará al paciente para que este verifique que el rango

de corriente no afecta a su salud. Incluso se tendrá el estado de la terapia que indica la manera en la cual se desarrolló la terapia. Se almacenarán estos datos en una base de datos para que así se lleve una cuenta y pueda realizar todas las terapias indicadas, el tiempo de la sesión que indica la duración de la terapia, el nivel de voltaje que mostrara si el voltaje de salida de la batería es apropiado para que siga funcionando. Asimismo, se tendrá una señal de parada que indicará que el dispositivo no está funcionando debido a falta de batería o una falla interna del sistema. Finalmente se tendrá al usuario que se habrá puesto la máscara para la rehabilitación y, así, se le aplicará la estimulación eléctrica para afrontar su parálisis facial.

3.3 Funciones del sistema

Para el desarrollo del dispositivo se necesitarán dispositivos electrónicos, mecánicos y una interfaz gráfica. Debido a esto, se describirán las funciones que desempeñan cada uno de ellos y sus respectivas relaciones a continuación.

3.3.1 Dominio Mecánico

3.3.1.1 Bloque “Mecánica”

En el presente bloque, ver Figura 3.2, se describe que los electrodos recibirán información de los sensores. Estos electrodos se protegerán y se sostendrán en la máscara para luego ubicarlos en el rostro del paciente. Después se adaptará el tamaño dependiendo de la forma que tenga la cabeza del usuario para, finalmente, sujetarlo a la cabeza. De esta forma, la salida será el rostro del usuario con la máscara puesta y la entrada será el usuario que va a necesitar de la máscara para la rehabilitación.

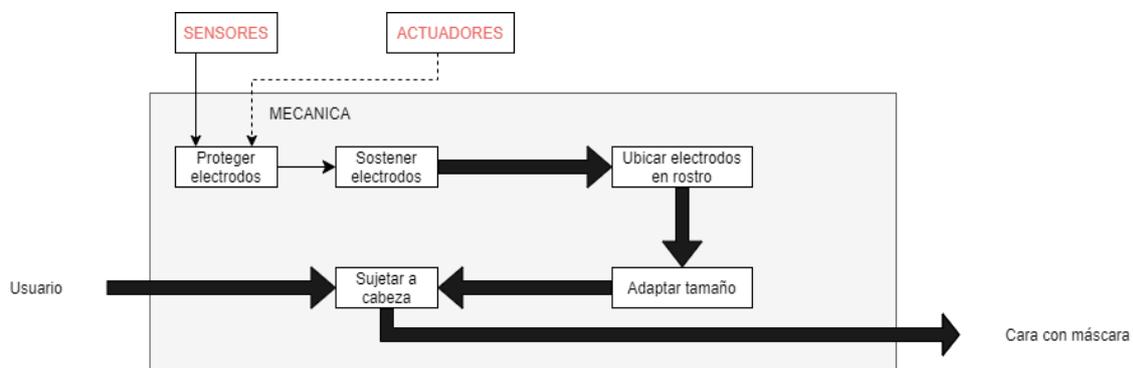


Figura 3.2: Bloque mecánica

Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Dominio electrónico

3.3.2.1 Bloque “Energía”

En este bloque, ver Figura 3.3, se muestra el flujo de la energía eléctrica. Primero se almacena la energía en una batería. Luego, al recibir la señal de encendido, se energiza el sistema. Por último, se acondicionará el voltaje para los bloques de sensores, procesamiento, interfaz y actuadores. Este último acondicionará el voltaje y corriente para poder enviarlo a los electrodos.

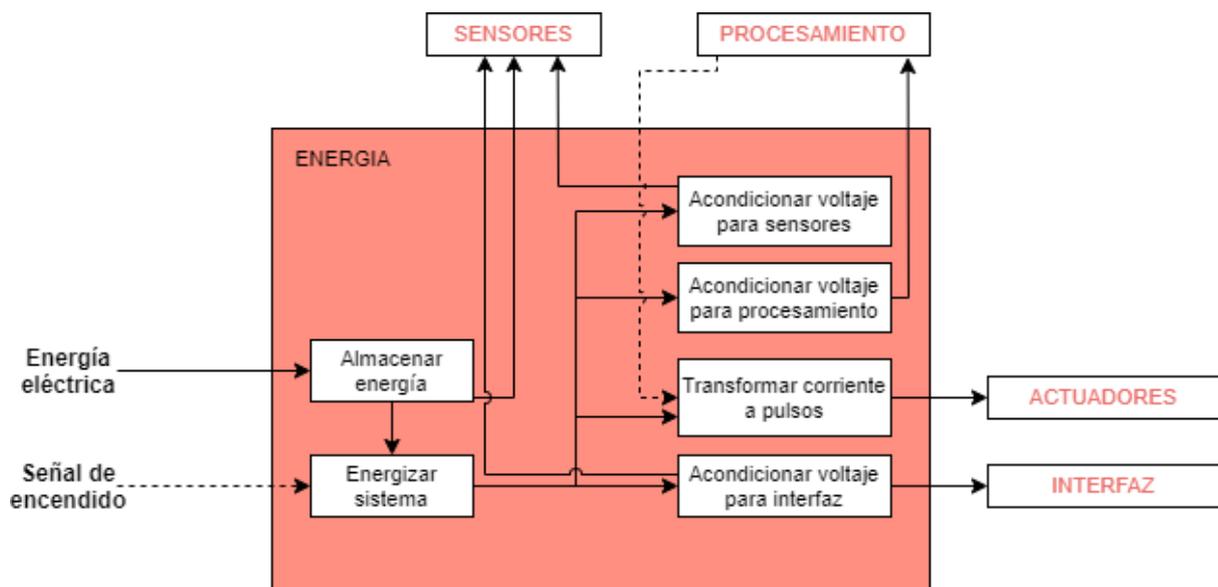


Figura 3.3: Bloque Energía

Fuente: Elaboración propia

3.3.2.2 Bloque “Sensores”

En este bloque, ver Figura 3.4, se presentan los sensores que brindan información de la intensidad de la corriente eléctrica al bloque mecánica, así como el sensor que se encargará de medir el voltaje de las baterías. Las señales de salida se dirigen a la etapa de acondicionamiento de señales.

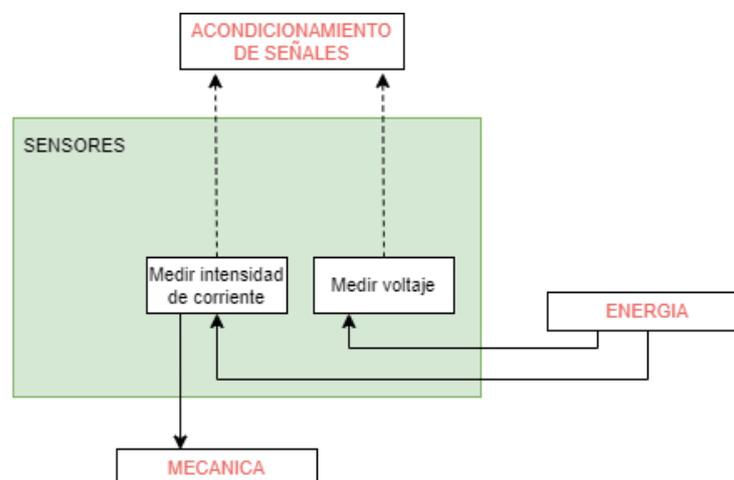


Figura 3.4: Bloque “Sensores”

Fuente: Elaboración propia

3.3.3.3 Bloque “Acondicionamiento de señales”

En el presente bloque, se halla una función que es la que regulará la señal proveniente de los sensores. Este proceso se realiza con las señales leídas del bloque sensores como se observa en la Figura 3.5. Las señales de salida pasaran al bloque procesamiento. Este acondicionamiento se realizará dos veces para luego mostrarlo en el bloque interfaz.

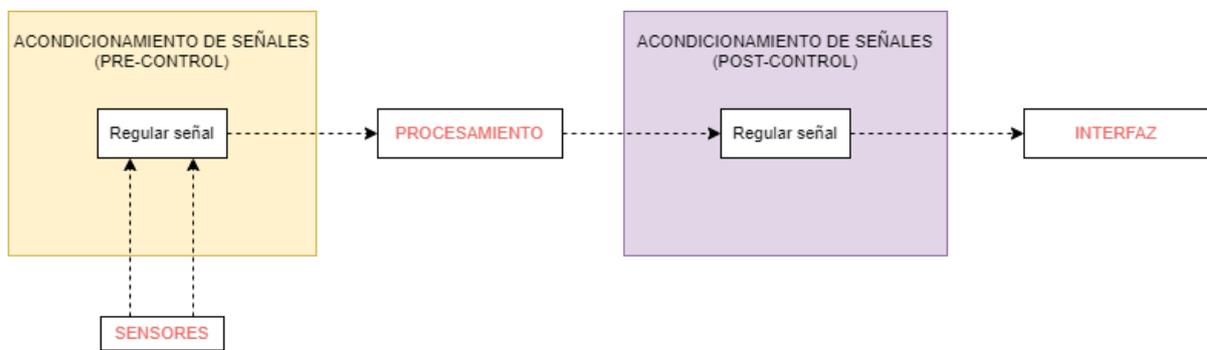


Figura 3.5: Bloque Acondicionamiento de señales

Fuente: Elaboración propia

3.3.3 Dominio de control

3.3.3.1 Bloque “Procesamiento”

En este bloque, ver Figura 3.6, primero se tomarán muestras de los datos provenientes del bloque de acondicionamiento de señales. Estas señales serán la intensidad de corriente y el nivel de voltaje de la batería. Posteriormente, se determinará la corriente de rehabilitación y el nivel de voltaje de la batería para almacenar esta información y enviarlo al bloque interfaz, el cual previamente pasará por otro bloque de acondicionamiento de señales para que pueda ser representado en la interfaz.

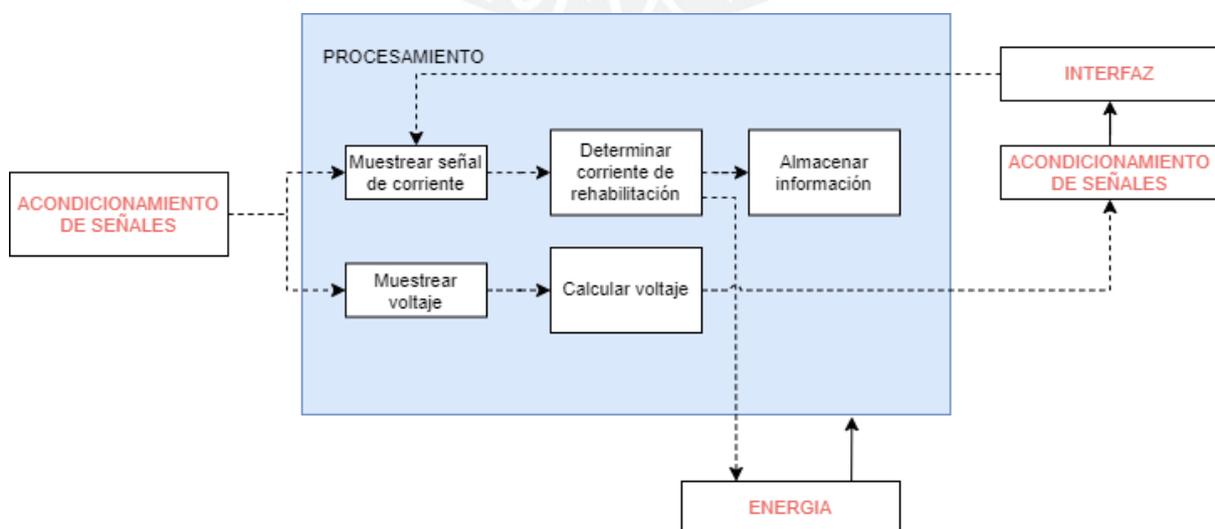


Figura 3.6: Bloque Procesamiento

Fuente: Elaboración propia

3.3.3.2 Bloque “Interfaz”

En el presente bloque, ver Figura 3.7, se aprecia que la información obtenida sobre la intensidad de corriente, estado de la terapia, tiempo de la sesión y el nivel de energía es mostrada al usuario. Asimismo, es en la interfaz donde el usuario da la señal de inicio para comenzar con la terapia.

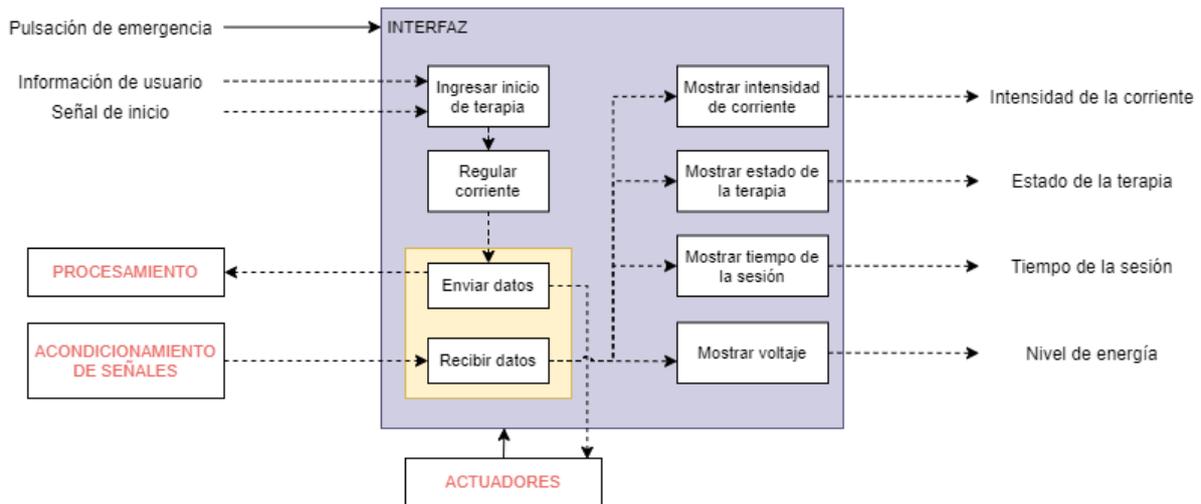


Figura 3.7: Bloque Interfaz

Fuente: Elaboración propia

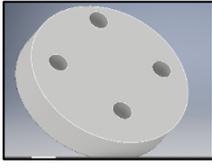
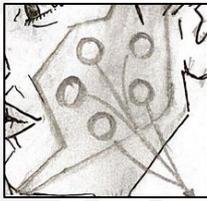
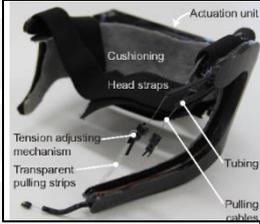
3.4 Matriz morfológica

A continuación, se presentará una matriz morfológica con 3 alternativas diferentes para cada función de los bloques explicados anteriormente en la estructura de funciones. De esta manera, se realizará una matriz por cada dominio.

Con este fin, se propondrán tres alternativas para cada función. Posteriormente, se obtendrán tres conceptos de solución para el sistema eligiendo una de cada opción. Estos conceptos serán analizados con mayor detalle en el punto 3.5

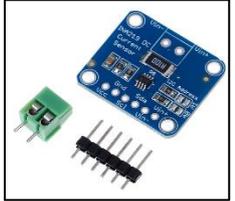
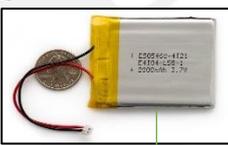
Concepto de solución 1	
Concepto de solución 2	
Concepto de solución 3	

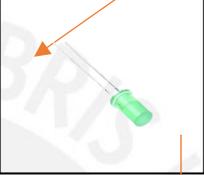
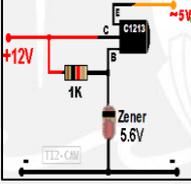
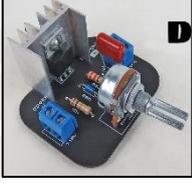
En la Tabla 3.1 se muestra la matriz morfológica correspondiente al dominio mecánico.

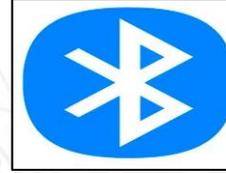
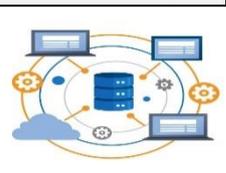
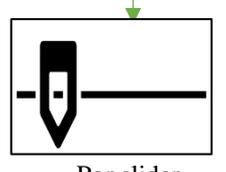
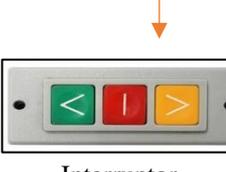
Tipo	Función		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	
MECÁNICA	Proteger electrodos		 Por recubrimiento	 Por espesor(foam)	 Por plástico	
	Sostener electrodos		 Por botón	 Dentro de la máscara	 Gel adhesivo	
	Ubicar electrodos en rostro		 Por material que se adapte	 Por presión		
	Sujetar a cabeza		 Tapando solo la cara	 Tapando toda la cabeza	 Cubriendo la mitad de la cara	
	Adaptar tamaño		 Por casco	 Por banda ajustable	 Por ajuste de matraca	

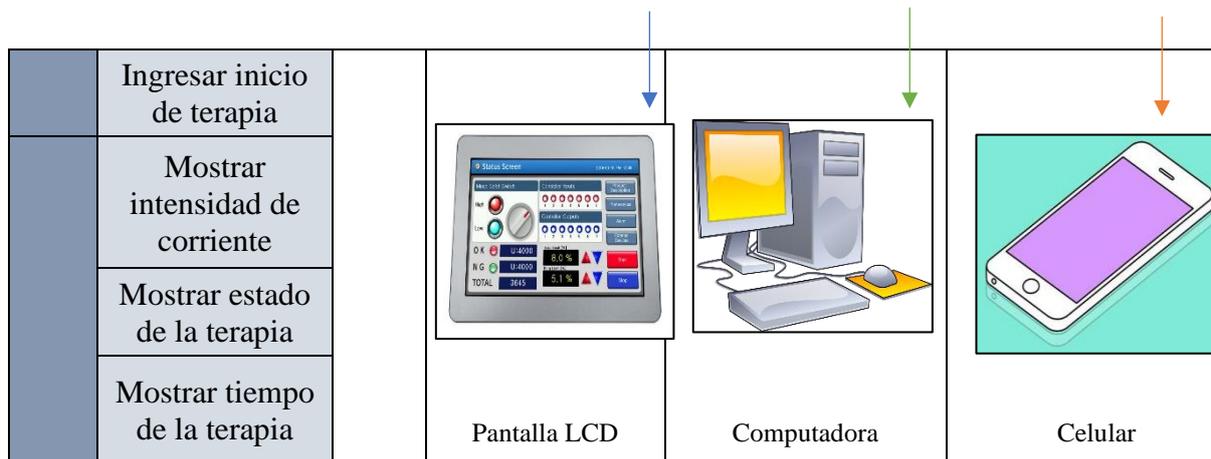
Asimismo, en la Tabla 3.2 se muestra la matriz morfológica correspondiente a los dominios electrónico y de procesamiento.

Tabla 3.2: Matriz morfológica del dominio electrónico y de procesamiento.

SENSORES	Medir intensidad de corriente	 ACS712 Sensor de corriente	 SCT-013	 MCU219
	Medir voltaje	 Sensor de voltaje	 Módulo de medición	
ENERGÍA	Almacenar energía	 Batería LiPo	 Batería Li-Ion	 Batería Ni-Mh
	Energizar sistema	 Interruptor deslizable	 Switch	 Pulsador
	Acondicionar voltaje para sensores	 Vía USB	 Baterías	 Pilas
	Acondicionar voltaje para procesamiento	 Vía USB	 Baterías	 Pilas
	Acondicionar voltaje para interfaz	 Cargador de laptop	 Cargador de celular	 Baterías

	<p>Transformar voltaje a pulsos</p>	 <p>Convertidor DC</p>	 <p>Fuente lineal</p>	 <p>Batería de 5V</p>
<p>ACTUADORES</p>	<p>Aplicar corriente</p>	 <p>Electrodo de superficie</p>	 <p>Electrodo flexible</p>	 <p>Electrodos secos</p>
	<p>Mostrar indicación</p>	 <p>Led</p>	 <p>Led cilíndrico</p>	 <p>Tiras de led</p>
<p>ACONDICIONAMIENTO</p>	<p>Regular señal</p>	 <p>Circuito con transistores</p>	 <p>Circuito integrado</p>	 <p>Regulador de intensidad</p>

PROCESAMIENTO	HARDWARE	Tomar muestras de la señal de corriente			
		Tomar muestras del voltaje			
		Determinar corriente de rehabilitación	Arduino	NodeMCU	Raspberry
		Calcular voltaje			
SOFTWARE	Determinar corriente de rehabilitación	Cálculos directos	Redes neuronales	Regresión lineal	
	Calcular voltaje				
COMUNICACION	Enviar información				
	Recibir información	Wifi	Bluetooth	Cables	
INTERFAZ	Almacenar información				
		Base de datos	Micro SD	En la nube	
	Mostrar nivel de energía				
		Intensidad de led	Por porcentaje	Mediante gráficos	
	Regular corriente				
		Perillo regulable	Por slider	Interruptor	



Fuente: Elaboración propia

3.5 Conceptos de solución

Mediante el agrupamiento de las soluciones detalladas previamente, se desarrollarán los conceptos de solución de este dispositivo, los cuales serán explicados más adelante.

3.5.1 Concepto de solución 1

El desarrollo de este concepto de solución consiste en una máscara que cubrirá ambas zonas del rostro. La máscara consiste en una correa ajustable que unirá ambas zonas de la máscara y una en el mentón, para que, de esta manera, se ajuste a la forma de la cara y los electrodos se encuentren correctamente ubicados dentro de la máscara. Para la parte electrónica, estarán ubicados dentro de una caja rectangular los componentes electrónicos que consisten en lo siguiente: un Arduino, fuentes de voltaje y de corriente para regular la intensidad de corriente, baterías LiPo, leds de estado, y un interruptor deslizable para el correspondiente encendido. Asimismo, para determinar la corriente de rehabilitación que será inocua para el paciente, se programará un algoritmo en lenguaje C. Por último, se conectará mediante USB a una laptop que funcionará como interfaz donde se mostrará la información medida y calculada por el sistema y se almacenará en una base de datos. La conexión entre todos estos dispositivos será con cables. Todo lo mencionado anteriormente se puede observar en la Figura 3.8 y Figura 3.9.

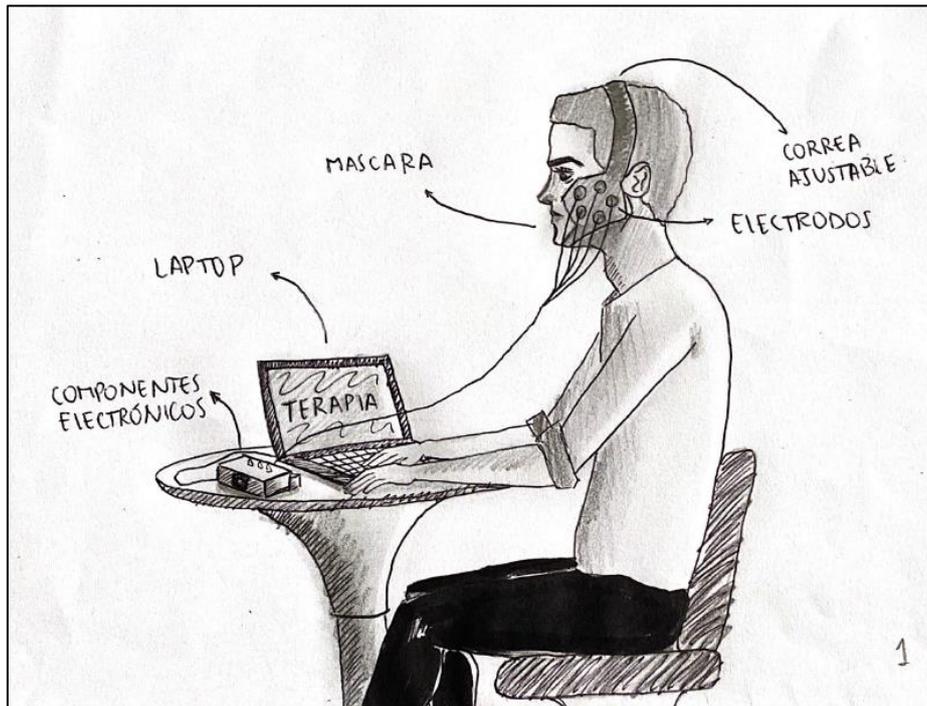


Figura 3.8: Concepto de solución 1

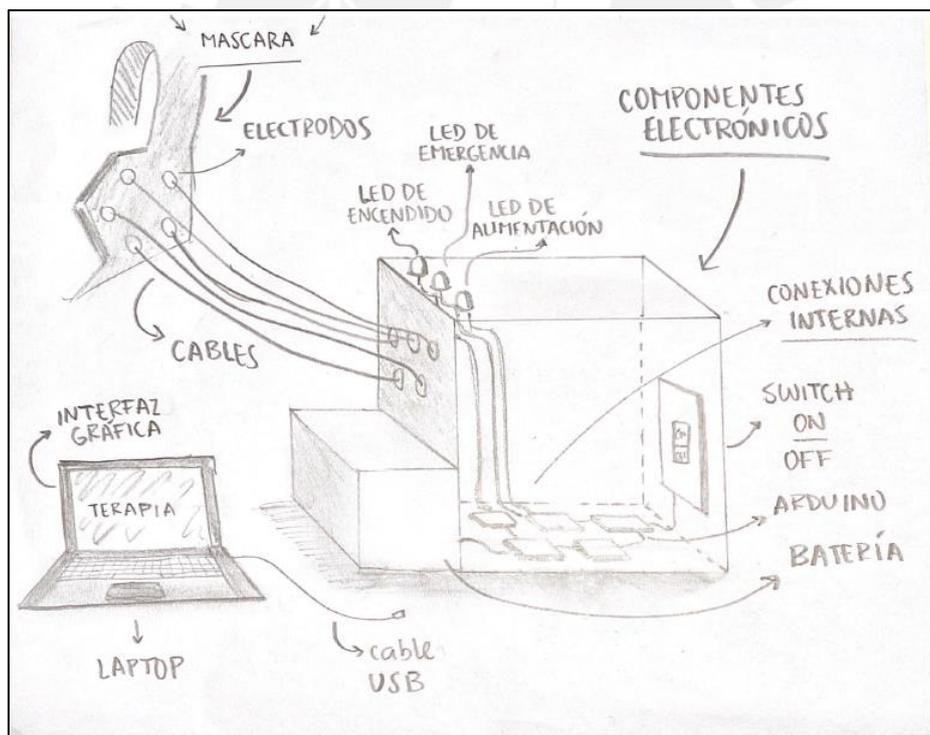


Figura 3.9: Concepto de solución 1- Detalles

3.5.2 Concepto de solución 2

Esta solución, ver Figura 3.10 y Figura 3.11, se basa en una mascarilla que cubrirá toda la parte inferior del rostro, que abarca desde los labios hasta antes de la zona auditiva. Esta

mascarilla contendrá los electrodos en su interior y se ajustará por matraca, para que, de esta forma, el propio usuario pueda dar vueltas con el fin de ajustar el tamaño al más adecuado para su rostro. Los electrodos irán unidos mediante cables a la caja de los componentes electrónicos. Para la parte electrónica, se optó por realizar un diseño cilíndrico para que sea fácil de transportar. En su interior tendrá relleno para colocar los componentes electrónicos que serán los siguientes: un NodeMCU, baterías NiMH, los drivers para regular la corriente y un módulo Wifi. Asimismo, para determinar la intensidad de corriente, el nivel de voltaje y el tiempo de la sesión se programará C# con fórmulas matemáticas y condicionales. La interfaz será un celular donde tendrá el programa de la sesión y se podrá visualizar los datos de intensidad de corriente, tiempo de la sesión, nivel de voltaje y estado de la terapia. Estos datos se almacenarán en el interior del celular.

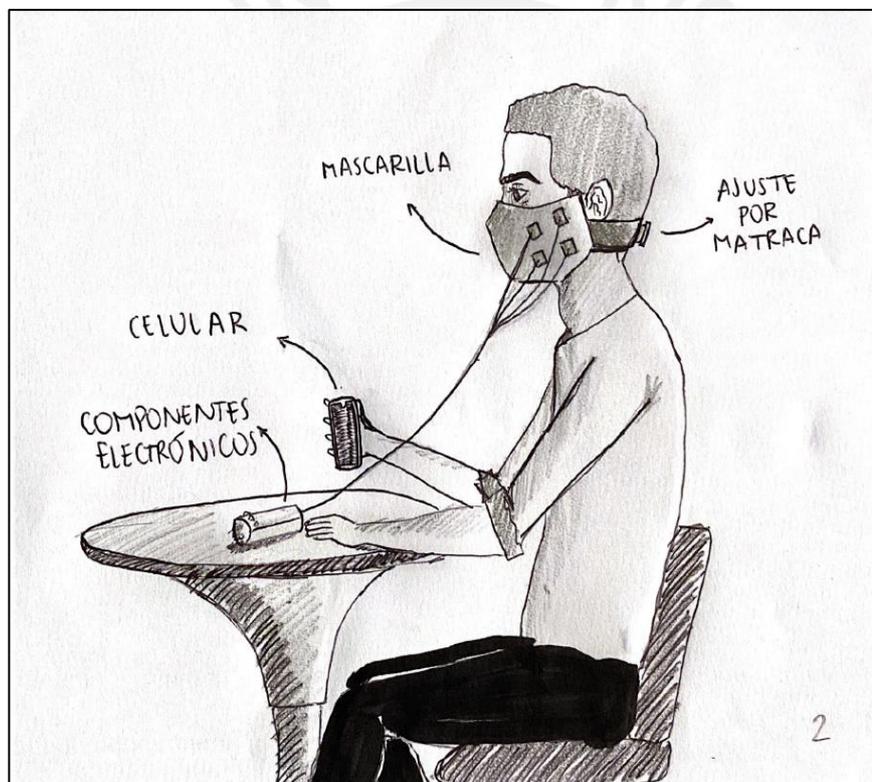


Figura 3.10: Concepto de solución 2

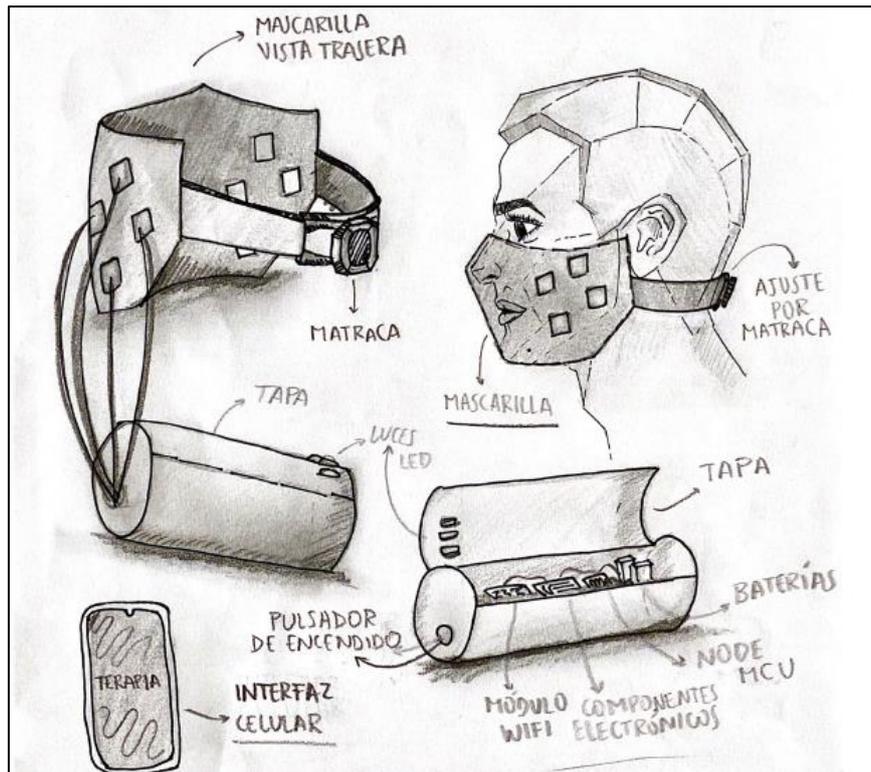


Figura 3.11: Concepto de solución 2- Detalles

3.5.3 Concepto de solución 3

Esta solución, ver Figura 3.12 y Figura 3.13, consiste en un casco que se colocará en la cabeza y en la parte inferior tendrá un ajuste a presión para colocar la máscara intercambiable, que se podrá colocar en un lado de la cara. En el interior del casco se encontrará un microcontrolador esclavo, el cual será el que reciba órdenes del maestro, también tendrá las fuentes de voltaje y corriente para regular la intensidad, un módulo Bluetooth y baterías Li-Nion para que funcione sin la necesidad de cables. La parte de la interfaz tendrá un pequeño panel de control que consistirá en una pantalla táctil que estará conectada a un Raspberry pi maestro, el cual se encargará de enviar las órdenes al casco, baterías, pulsador táctil para encenderlo y un módulo Bluetooth. Los datos se almacenarán en una memoria SD y se podrá observar el estado de la terapia, tiempo de la sesión, intensidad de corriente y el nivel de batería que le queda al casco en la pantalla táctil.

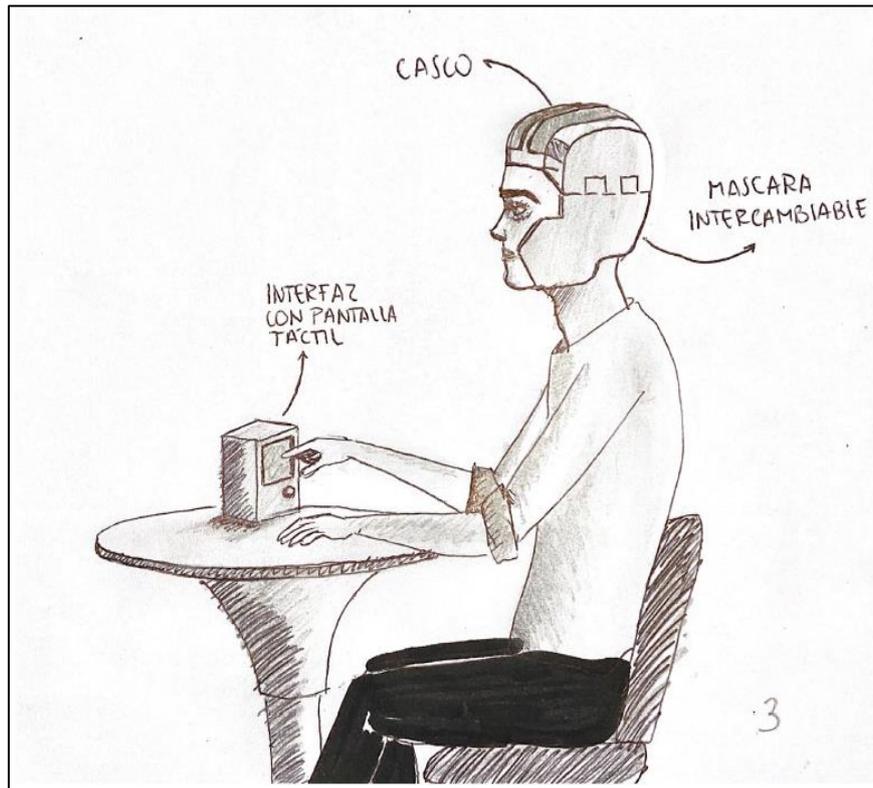


Figura 3.12: Concepto de solución 3

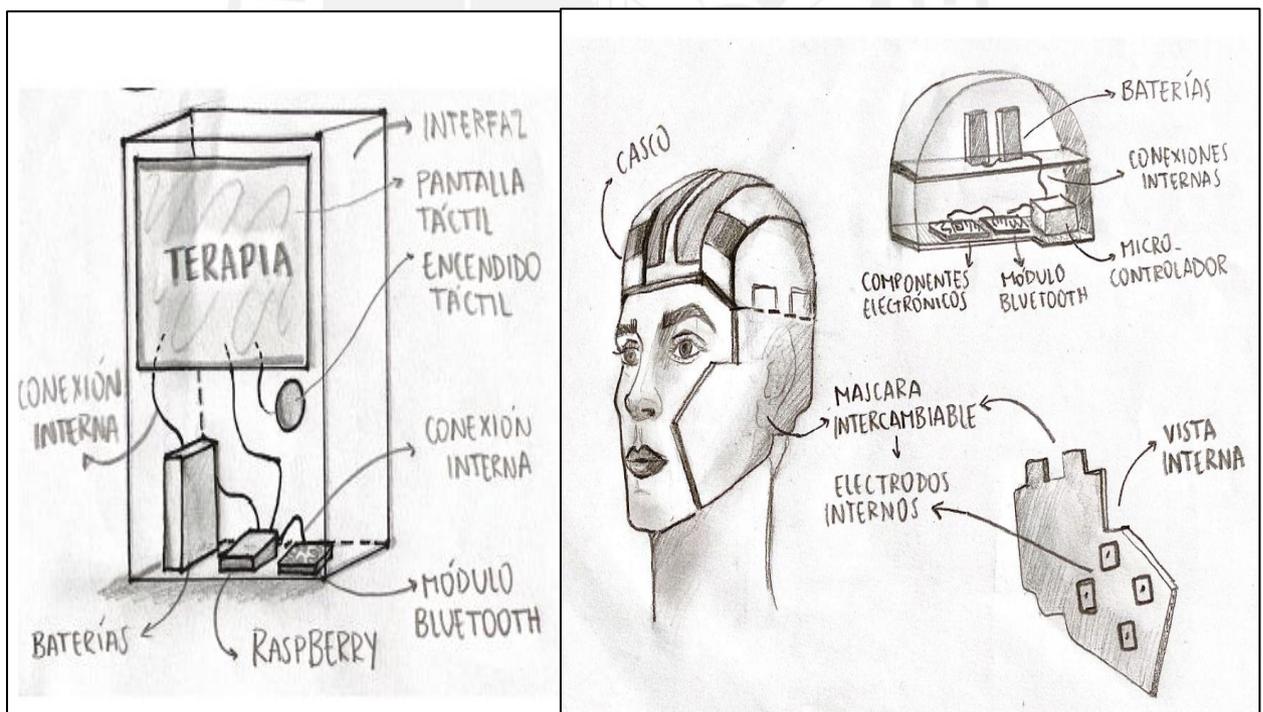


Figura 3.13: Concepto de solución 3- Detalles

3.6 Evaluación técnica- económica

Mediante la distribución de diferentes valores “g” a los criterios que se establecerán, se realizará una buena selección del concepto solución óptimo por lo que se describirán estos para que el lector entienda el razonamiento detrás de la asignación de los pesos de cada uno. Se sabe que la finalidad de este sistema es la rehabilitación, por lo que se debe tener mucha atención en la efectividad de esta. Por lo tanto, se deberá priorizar el criterio de función principal, que es la aplicación de estimulación eléctrica y que tan rápido el paciente siente los efectos de la rehabilitación; ya que, si el paciente no siente los efectos, la terapia no sería efectiva por lo que se asigna pesos de 3 y 4 respectivamente (g) a este criterio debido a que es de suma relevancia.

Además, debido a que se realizarán sesiones de rehabilitación para medir la eficacia del sistema, se deberá poseer una interfaz intuitiva para que así el usuario se familiarice rápidamente con el dispositivo y pueda iniciar fácilmente con la terapia. Por lo tanto, se deberá priorizar el criterio de intuición del sistema de rehabilitación, puesto que, si el paciente intuye qué debe hacer en la rehabilitación, el tiempo de inducción se reducirá considerablemente por lo que se asigna un peso de 3 (g) a este criterio debido a que es un criterio muy importante.

Por otro lado, se debe tener en cuenta la fácil adquisición y el costo de tecnología del sistema debido a que sin estos no se podría armar el dispositivo en el tiempo establecido y aumentaría el costo del dispositivo de rehabilitación, por lo que contradeciría a la lista de exigencias en el cual establecimos que el sistema es de bajo costo, se asigna un peso de 3 (g) a estos criterios debido a que es un criterio importante.

Finalmente, se deberá tener en cuenta la facilidad de uso del sistema, debido a que este debe estar con el paciente para que él pueda configurar los límites de intensidad de corriente que puede soportar y se realice la terapia; es decir, no es conveniente que el dispositivo venga con un rango de corriente predefinido. Por lo tanto, se asigna un peso de 2 (g) a este criterio debido a que es un criterio importante pero no limita su uso.

Por otro lado, se deberá asignar a cada criterio un valor “p”, el cual variará del 1 al 4 dependiendo de diversos factores, estos se describirán en las siguientes líneas.

3.6.1. Evaluación técnica

Facilidad de uso: Debido a que el dispositivo va a ser sencillo de utilizar para que el usuario pueda usarlo de manera correcta, se usará la dificultad como criterio de asignación del peso p. A este se le asignará 4 si su dificultad es de 0-1, además se le asignará 3 si su dificultad es de 1- 3, asimismo se le asignará 3 si su dificultad es de 3- 5. Por último, se le asignará 1 si su dificultad es de 5- 8.

Portabilidad: Debido a que un objeto es más difícil de transportar si es más pesado, se usará el peso del hardware de procesamiento como criterio de asignación del peso p. A este se le asignará 4 si su peso esta entre 0-10 g, además se le asignara 3 si su peso esta entre 10-30 g, asimismo se le asignara 2 si su peso esta entre 30- 100 g. Por último, se le asignara 1 si su peso esta entre 100- 300g.

Seguridad: Debido a que el dispositivo generará impulsos eléctricos para realizar la terapia, se usará el factor de riesgo que pueda tener una persona como criterio de asignación del peso p. A este se le asignará 4 si el riesgo es entre 0- 1, además se le asignará 3 si el riesgo es de 1-3, asimismo se le asignará 2 si el riesgo es de 3-5. Por último, se le asignará 1 si el riesgo es de 5-10.

Ergonomía: Debido a que el usuario va a usar una máscara para la rehabilitación y esta debe ser cómoda para no generar cansancio al tener un objeto sobre la cabeza, se usará el porcentaje de cubrimiento del rostro. A este se le asignará 4 si solo cubre de 0-10% del rostro, además se le asignará 3 si cubre del 10-30% del rostro, asimismo se le asignará 2 si cubre del 30- 60%. Por último, se le asignará 1 si cubre del 60- 100% del rostro.

Intuición: La capacidad de intuir de un paciente sobre qué operación realizar al empezar con el software de rehabilitación se determina por la complejidad de este, se usará la cantidad de acciones que debe realizar como criterio de asignación del peso p. A este se le asignará 1 si se realizan de 20 a 30 acciones, además se le asignará 2 si se realizan de 10- 20 acciones, asimismo se le asignará 3 si se realizan de 5- 10 acciones. Por último, se le asignará 4 si se realizan de 1- 5 acciones.

Mantenimiento: El mantenimiento de un equipo se debe realizar cada cierto tiempo para que no haya fallos al momento de realizar la rehabilitación, por lo que se usará este tiempo como criterio de asignación del peso p. Se le asignará 1 si el tiempo es de 0 y 1 mes, además se le asignará 2 si el tiempo es de 1- 2 meses, asimismo se le asignará 3 si el tiempo es de 2- 3 meses. Por último, se le asignará 4 si el tiempo de respuesta si el tiempo es de 3- 4 meses.

Se muestra en la tabla 3.3 los pesos asignados a cada criterio y a cada concepto de solución.

Tabla 3.3: Evaluación técnica de los conceptos de solución

Tabla 3.3								
Evaluación técnica de los conceptos de solución								
Proyecto: Dispositivo para rehabilitación de parálisis facial por estimulación eléctrica								
P: Puntaje de 0 a 4 (Escala de Valores según VDI 2225)								
0 = No satisface, 1 = Aceptable, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Muy bien (ideal)								
G: Peso ponderado y se da en función a la importancia de los criterios de evaluación								
Variantes de concepto/Proyecto			Solución 1		Solución 2		Solución 3	
Nº	Criterio de Evaluación	G	P	GP	P	GP	P	GP
1	Función principal	4	3	12	3	12	2	8
2	Facilidad de uso	1	3	3	3	3	2	2
3	Portabilidad	3	2	9	3	9	1	3
4	Seguridad	3	3	9	3	9	2	6
5	Ergonomía	3	3	9	3	9	2	6
6	Intuición	3	3	9	2	6	3	9
7	Mantenimiento	2	3	6	2	4	2	4
Puntaje Máximo		76	20	54	19	52	14	38
Valor Técnico Xi			0.711		0.684		0.500	
Orden			1		2		3	

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en la Figura 3.14, que el concepto que más se asemeja a la solución ideal es la solución 1 y la solución 2, ya que ambos son más simétricos en los criterios ya mencionados anteriormente. Incluso son más cómodos que la solución 3, ya que este posee un puntaje menor como se aprecia en la figura. Se puede descartar a la solución 2, ya que no es tan rápido de usar pues será por conexión wifi y si se ve afectado con otras ondas que lleguen al celular, la comunicación no sería exitosa. Además, en el criterio de seguridad la solución 3 está descartada porque tendrá baterías en la cabeza y eso puede ser peligroso para el paciente en el caso que se encuentren fallos.

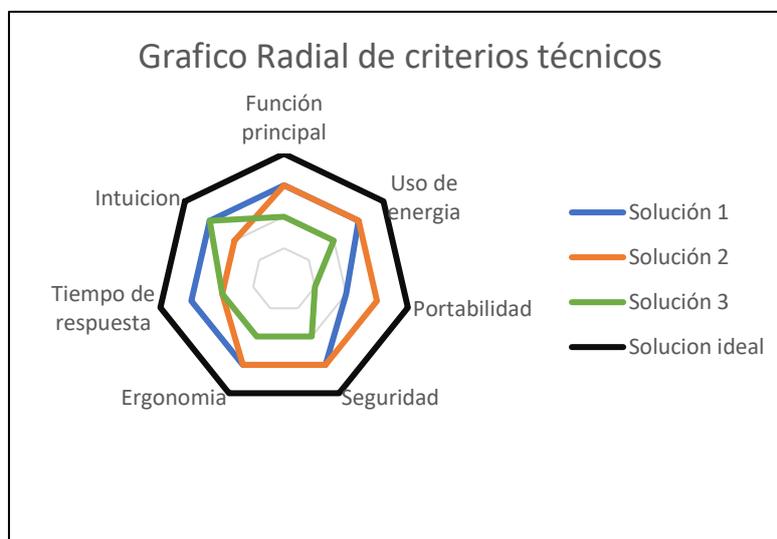


Figura 3.14: Gráfica radial de criterios técnicos

Fuente: Elaboración propia

3.6.2 Evaluación económica

Costo de materiales: El costo de la tecnología se determina por el costo total de sus componentes, se usará el monto en soles como criterio de asignación del peso p. A este se le asignará 1 si el costo está entre 2000 y 2400 soles, además se le asignará 2 si el costo está entre 1500-2000 soles, asimismo se le asignará 3 si el costo está entre 600- 1500 soles. Por último, se le asignará 4 si está entre 0- 600 soles.

Repuesto de piezas: Un sistema tendrá facilidad de encontrar repuesto de piezas, en cuestión de economía, si el costo extra necesario para conseguir los dispositivos o algún repuesto, ya sea si es de importación o no, es bajo; por lo que se usará este costo como criterio de asignación del peso p. A este se le asignará 1 si el costo extra está entre 300- 600 soles, además se le asignará 2 si el costo extra está entre 150- 300 soles, asimismo se le asignará 3 si el costo extra está entre 80- 150 soles. Por último, se le asignará 4 si el costo extra está entre 0- 80 soles.

Costo de mantenimiento: El mantenimiento del sistema, en términos económicos, y sus dispositivos necesarios son de bajo costo, por lo que se usará este costo como criterio de asignación del peso p. A este se le asignará 1 si el costo es de 30-50 soles, además se le asignará 2 si el costo esta entre 15- 30 soles, asimismo se le asignará 3 si el costo está entre 10- 15 soles. Por último, se le asignará 4 si el costo está entre 0- 10 soles.

Tabla 3.4: Evaluación económica de los conceptos de solución

Tabla 3.4								
Evaluación económica de los conceptos de solución								
Proyecto: Dispositivo para rehabilitación de parálisis facial por estimulación eléctrica								
P: Puntaje de 0 a 4 (Escala de Valores según VDI 2225)								
0 = No satisface, 1 = Aceptable, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Muy bien (ideal)								
G: Peso ponderado y se da en función a la importancia de los criterios de evaluación.								
Variantes de concepto/Proyecto			Solución 1		Solución 2		SOL 3	
Nº	Criterio de Evaluación	G	P	GP	P	GP	P	GP
1	Costo de materiales	3	3	9	3	9	2	6
3	Repuesto de piezas	2	3	6	2	4	1	2
5	Costo de mantenimiento	3	2	6	2	6	1	3
Puntaje Máximo		32	8	21	7	19	4	11
Valor Técnico Yi			0.656		0.593		0.344	
Orden			1		2		3	

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en la Figura 3.15, que la que se asemeja más al triangulo de la solución

óptima es la solución 1, ya que tiene el mayor puntaje en costo de materiales, así como su fácil adquisición. El concepto de solución presenta también igual puntaje de costo de materiales, pero su puntaje en las otras dos opciones es menor. La solución 3 presenta bajos puntajes en ambos criterios, ya que la adquisición de sus componentes, así como su mantenimiento, requerían costos muy elevados, por lo que se puede observar en la figura que es el triángulo más pequeño y alejado de la solución ideal.

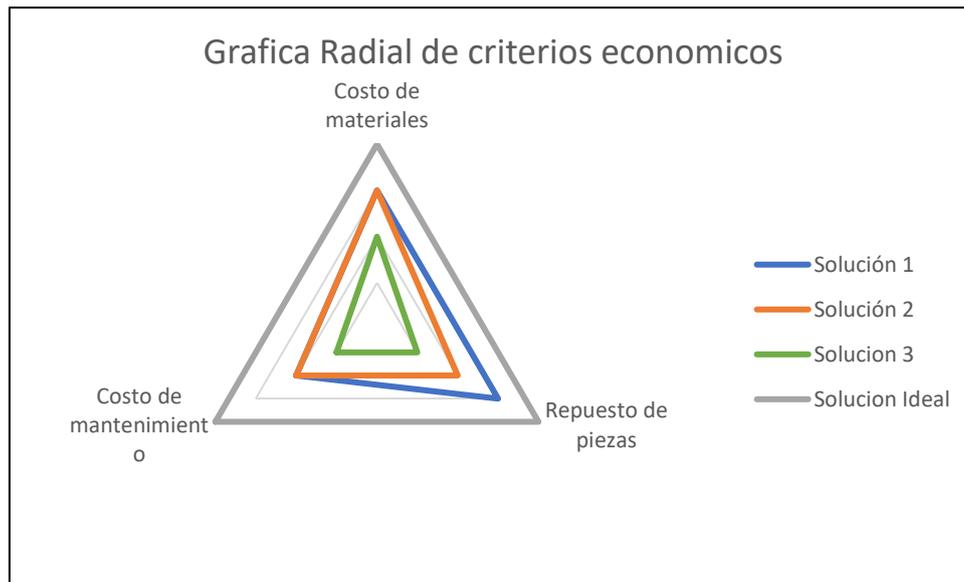


Figura 3.15: Grafica radial de criterios económicos

Fuente: Elaboración propia



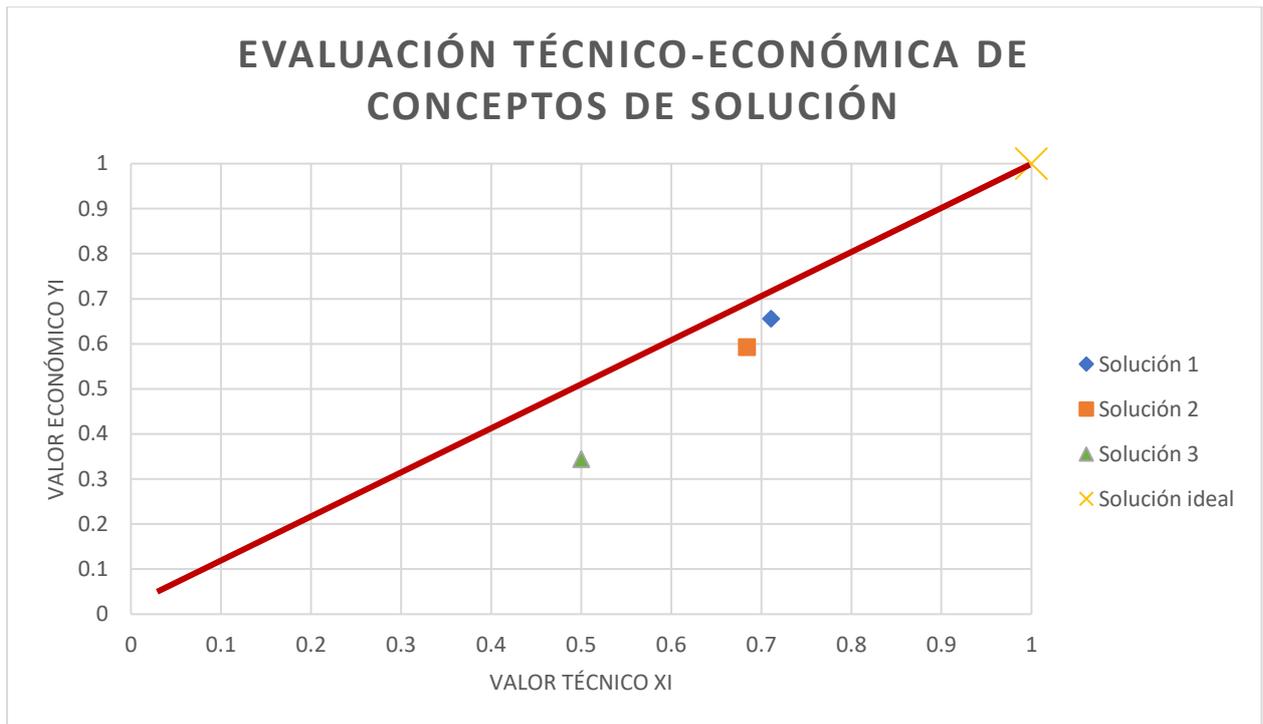


Figura 3.16: Análisis técnico- económico

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en la Figura 3.16 los resultados de las tablas presentadas anteriormente. Se elige como solución óptima al concepto de solución que más se aproxime a la recta y estaba más cerca al punto con coordenadas (1,1). Se aprecia del gráfico que el concepto de solución ganador fue el primer concepto.

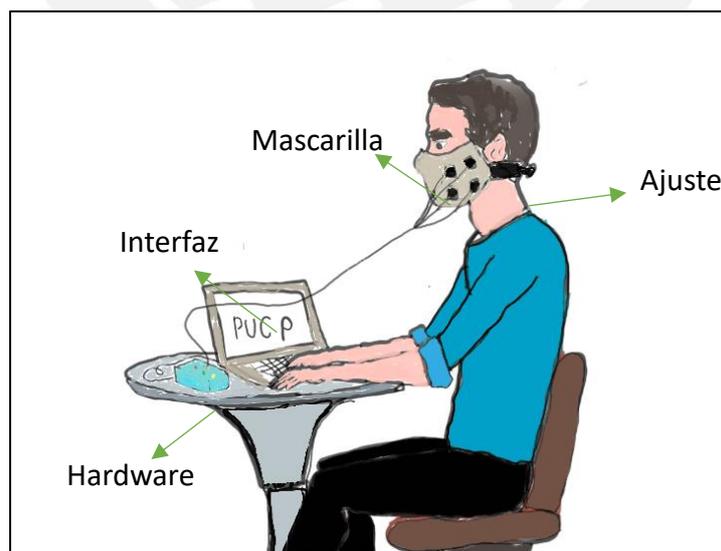


Figura 3.17: Concepto óptimo

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 4

DISEÑO PRELIMINAR

Este capítulo poseerá información relevante relacionada al proyecto preliminar del sistema. En primer lugar, se identificarán los problemas que posee el concepto de solución óptimo del dispositivo y se darán las recomendaciones correspondientes que se deberán aplicar para obtener el proyecto óptimo preliminar. Además, se presentará el diagrama de operaciones, la arquitectura de hardware y el diagrama de flujo.

4.1 Proyecto preliminar

En base a lo descrito en el capítulo anterior, se puede concluir que al concepto de solución óptimo se debe realizar cambios en la estructura del hardware para que sea más fácil de transportar. Además, se debe cambiar la máscara del concepto de solución 1 por la máscara del concepto de solución 2, de tal modo que sea más cómodo en el uso del paciente y se mantenga siempre en contacto con la zona afectada del paciente. Por otro lado, la interfaz gráfica puede ser más amigable para que así la sesión de rehabilitación sea más satisfactoria.

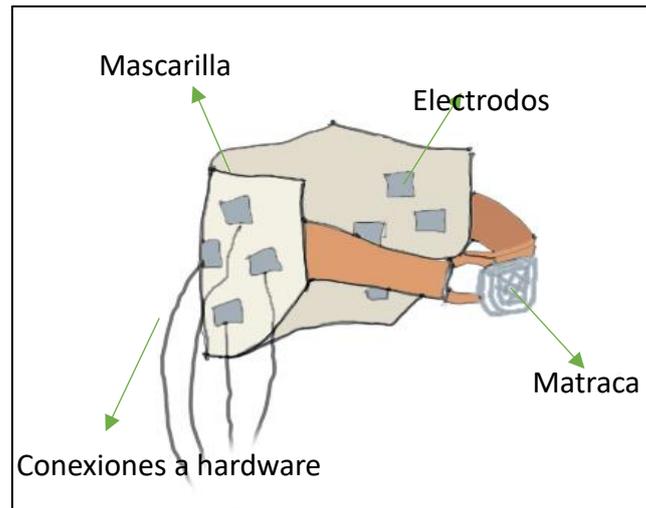


Figura 4.1: Diseño preliminar de máscara

Fuente: Elaboración propia

4.2 Arquitectura de hardware

La arquitectura de hardware de este sistema posee como entrada un voltaje de 220 VAC, el cual ingresa a la laptop para que esté alimentada, que por medio de conexión USB puede transferir información y voltaje de 5 VDC. Esta conexión alimenta a un Switch ON/OFF, el cual entrega 5 VDC y restringe el uso de energía en el microcontrolador. Por otro lado, el microcontrolador alimenta a los LED y transmite señales al driver de voltaje y corriente para dar la señal a la máscara, el cual va a necesitar 3.7V para poder regular la corriente. Este driver estará resguardado por un circuito de protección por si llegara a sobrepasar su límite, y enviaría la señal al microcontrolador y se apagaría.

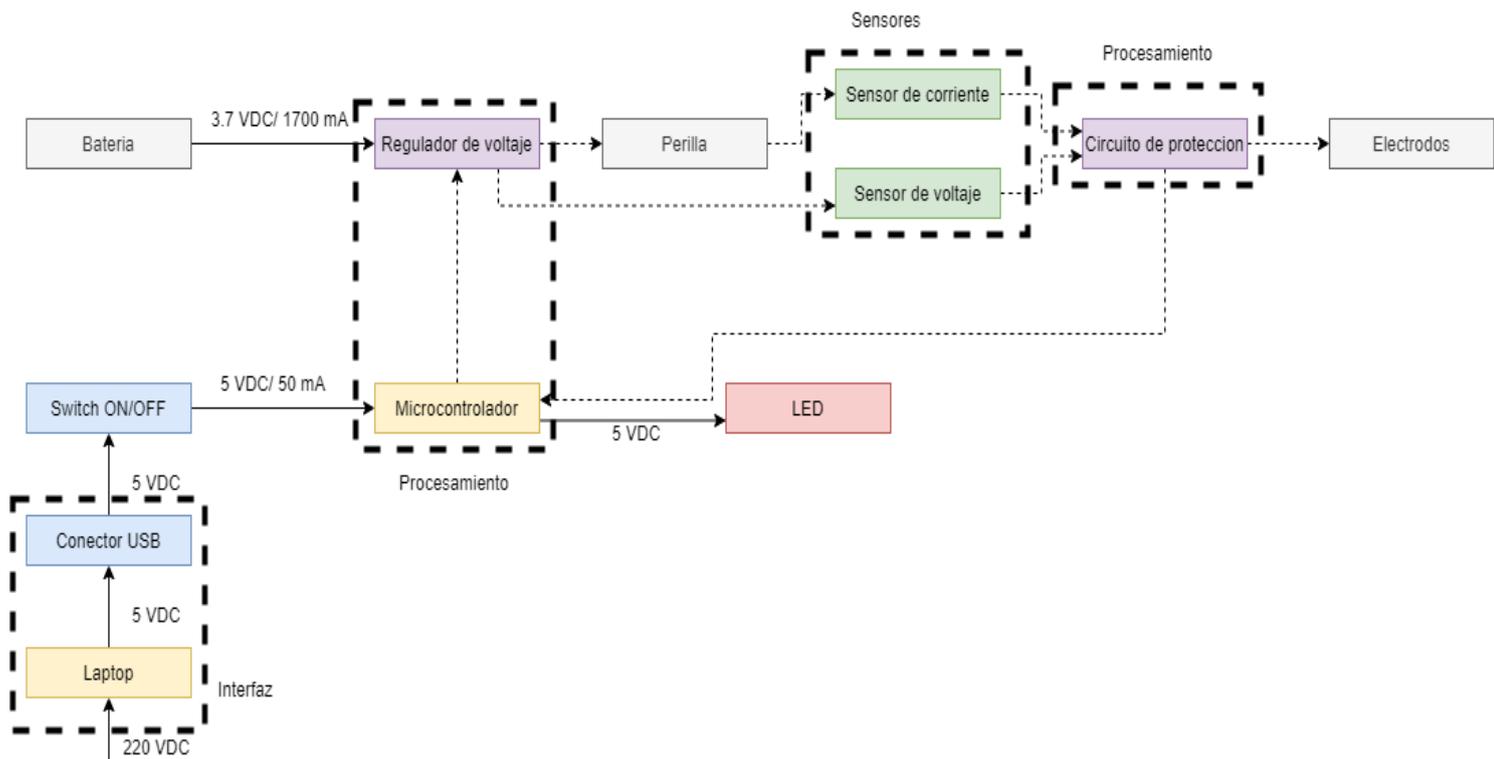


Figura 4.2: Arquitectura de hardware

Fuente: Elaboración propia

Debido a que se desea ajustar el proceso de la interacción entre el paciente y el dispositivo de rehabilitación, se realizará un diagrama de operaciones, mediante el cual el paciente deberá seguir en cada sesión de rehabilitación, la cual será descrita a continuación.

4.3 Diagrama de operaciones

El diagrama de operaciones de este sistema inicia con una fase de configuración, la cual considera que el paciente no debe poseer alguna herida en el rostro y, además, tendrá que leer las instrucciones de uso cuando obtenga el equipo. Luego el paciente se colocará la mascarilla en el rostro, colocándose en la zona afectada para, así, calibrar luego la intensidad de corriente hasta que este sienta dolor. Después colocará los valores de la terapia como la duración y la intensidad de corriente máxima. A continuación, el paciente esperará el tiempo de duración y al final de la terapia visualizará los valores del tiempo, cuanta intensidad fue aplicada y cuanta batería le queda al dispositivo. Este proceso acabará una vez que se cumpla el tiempo establecido.

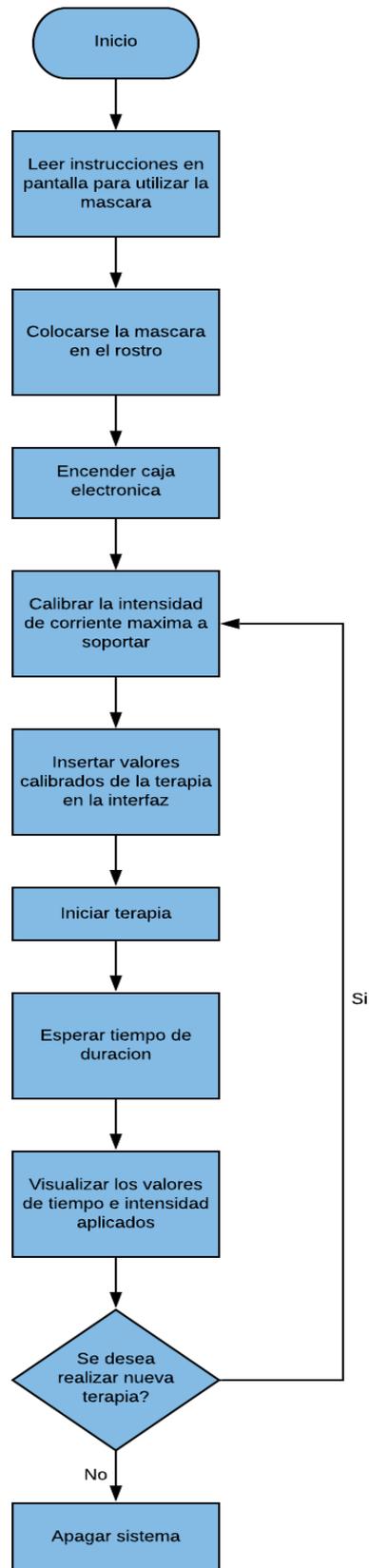
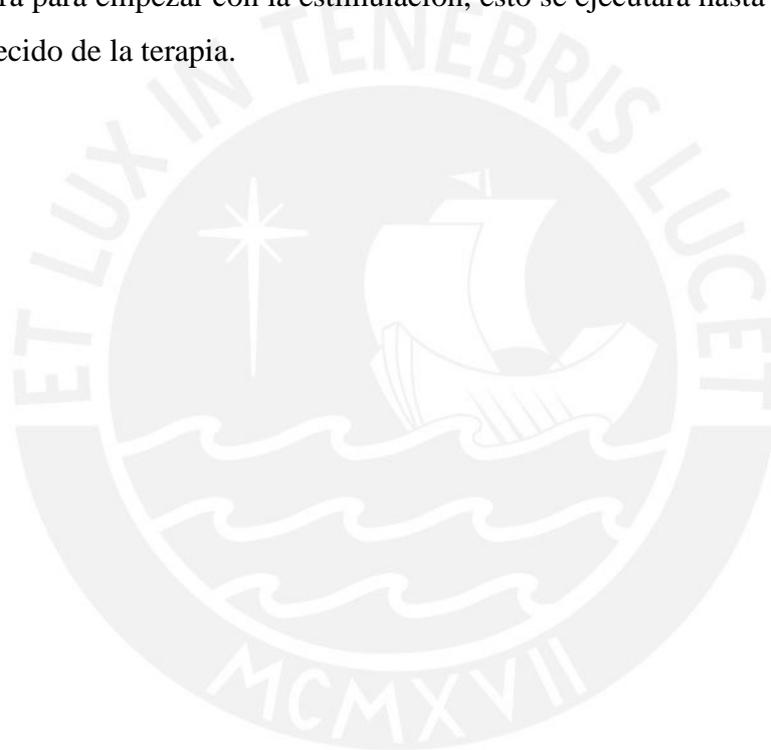


Figura 4.3: Diagrama de operaciones

Fuente: Elaboración propia

4.4 Diagrama de flujo

El diagrama de flujo del sistema comienza con inicialización de los parámetros de recepción y envío de señales en el dispositivo de procesamiento. Luego se muestra el inicio de la terapia y se espera una señal que indicaría el inicio de un ensayo de la terapia, una vez que esté en el inicio se le mostrará al paciente una pantalla para que pueda calibrar la intensidad de corriente máxima que pueda soportar. Una vez accionada la señal, el paciente ya con la máscara puesta, esperará a la recepción de la señal de corriente. Después de un tiempo recibirá la intensidad de corriente, la cual irá aumentando hasta un máximo para realizar la estimulación al rostro del paciente. Las señales almacenadas se procesarán y enviarán una señal a la máscara para empezar con la estimulación, esto se ejecutará hasta que se cumpla el tiempo establecido de la terapia.



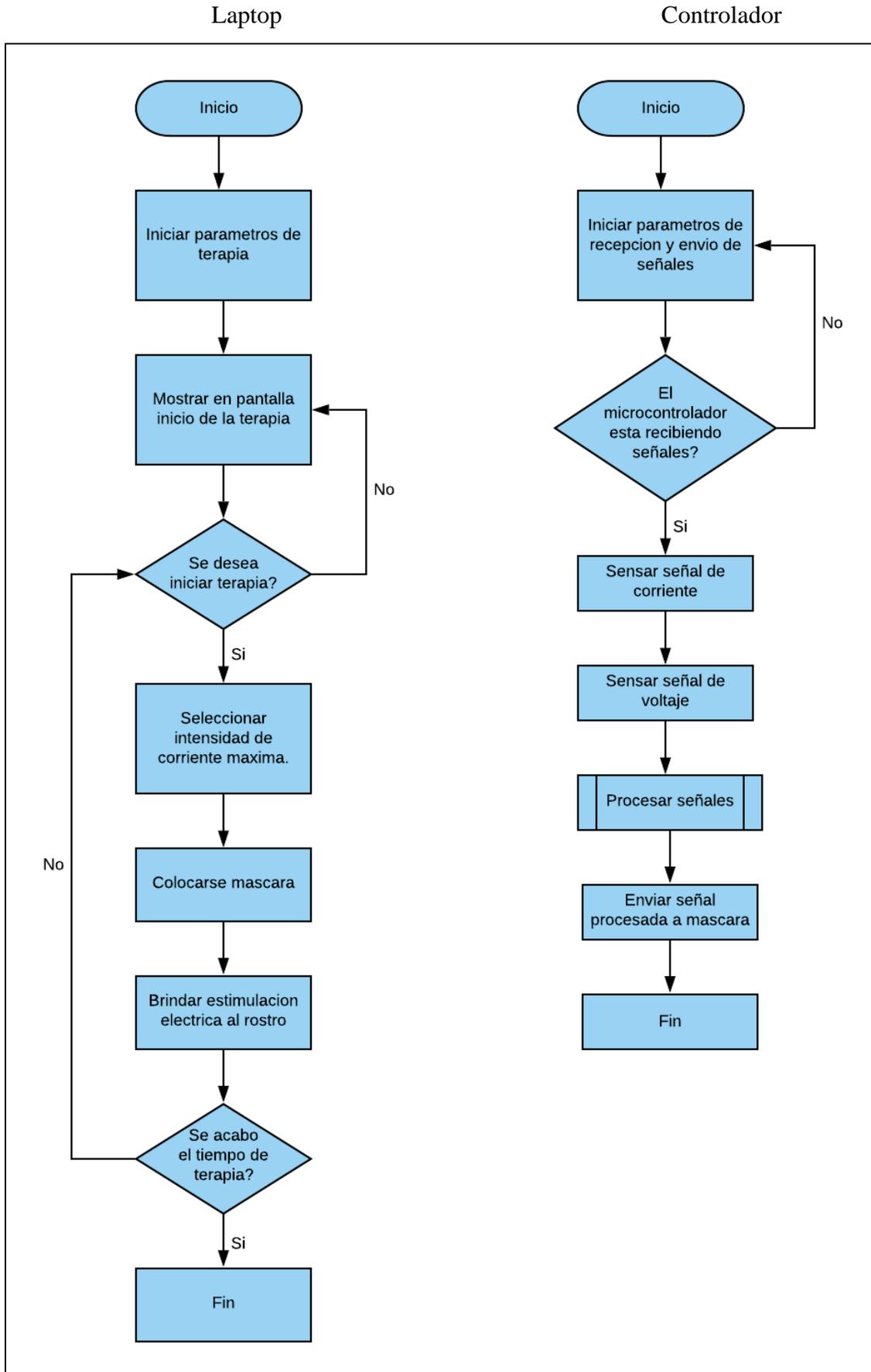


Figura 4.4: Diagrama de operaciones del sistema

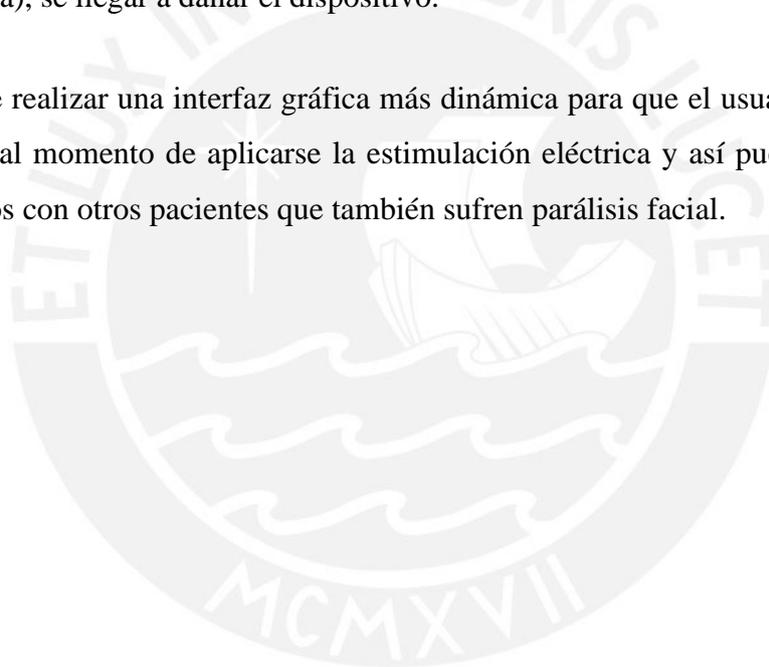
Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

1. Se ha logrado el objetivo general de este trabajo de investigación que es diseñar un dispositivo para la terapia de la parálisis facial por estimulación eléctrica. De esta forma el paciente podrá realizar la terapia sin necesidad de la presencia de un terapeuta.
2. Se consiguió diseñar una máscara para la rehabilitación de la parálisis facial según las medidas anatómicas de la cara y de las mascarillas. Además, dentro de la máscara se encontrarán los electrodos que harán posible la estimulación eléctrica.
3. Se consiguió realizar la estructura de funciones donde se muestra la conexión entre las funciones del dominio mecánico, control, energía, sensores, actuadores y con interacción de una interfaz gráfica con el usuario.
4. Se presentó tres conceptos de solución donde con un análisis técnico- económico se determinó el concepto de solución óptimo que satisface con los requerimientos del dispositivo.
5. Se diseñó la carcasa para cubrir los dispositivos electrónicos del sistema, debido a que, si se mueve algún componente electrónico o se desconecta algún cable por error, la terapia no se realizaría correctamente; e incluso, no llegaría a proporcionar la estimulación eléctrica.

RECOMENDACIONES

1. El diseño de la máscara se puede mejorar fabricándolo de un material más maleable y colocarle un material suave dentro de la máscara para que así el paciente sienta mayor comodidad.
2. Se recomienda cubrir los cables que irán conectados de la caja hacia la máscara con un plástico oscuro para que se vea mejor estéticamente.
3. Se recomienda transportar el sistema por separado y luego integrarlo cuando se llegue al hogar. Esto se debe a que si se llevara todo el sistema ya conectado (caja electrónica y máscara), se llegar a dañar el dispositivo.
4. Se puede realizar una interfaz gráfica más dinámica para que el usuario se sienta más cómodo al momento de aplicarse la estimulación eléctrica y así pueda comparar sus resultados con otros pacientes que también sufren parálisis facial.



ANEXOS

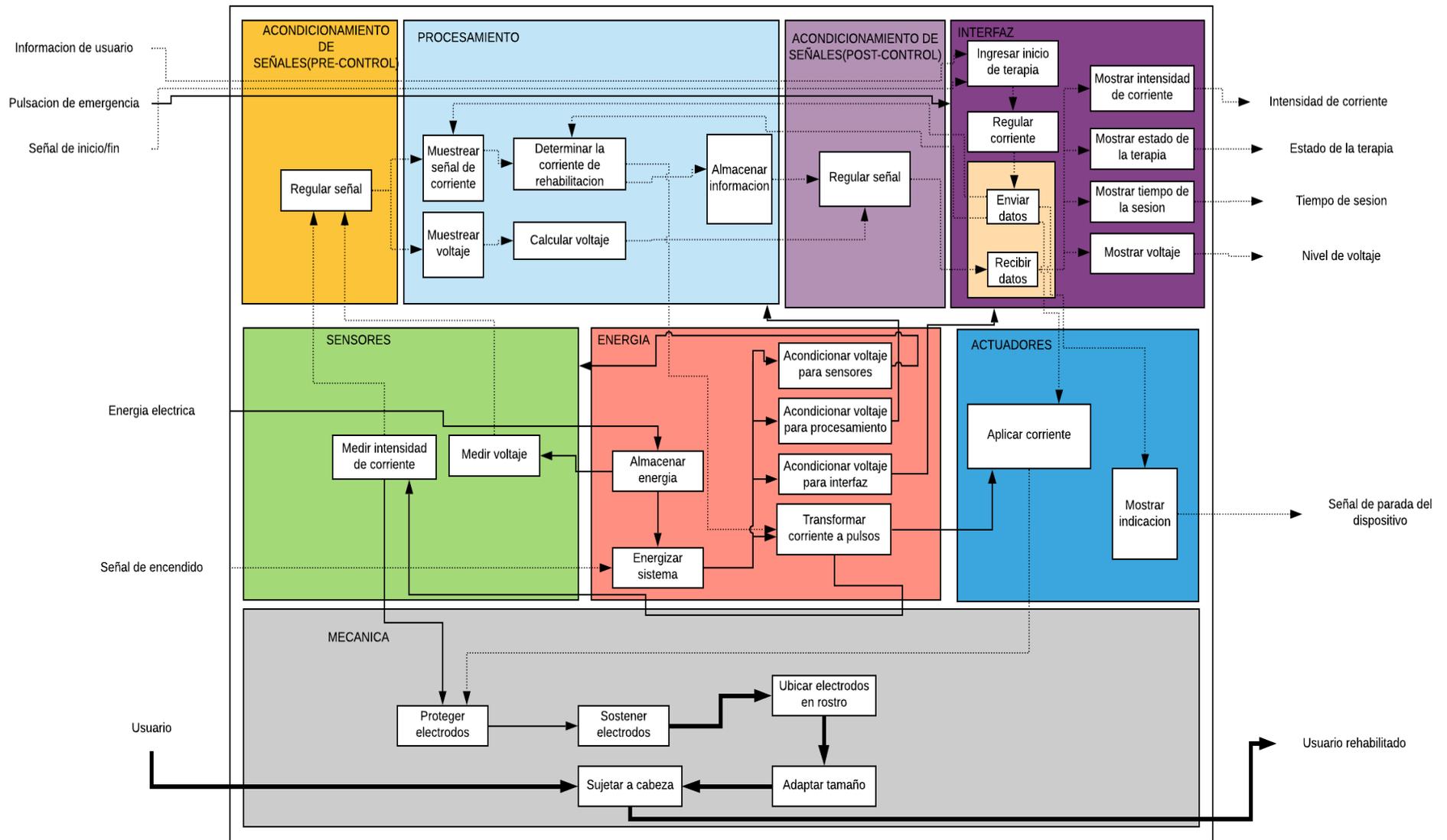
Anexo 1: Lista de requerimientos

LISTA DE EXIGENCIAS			Edición: Rev1
PROYECTO		Diseño de un dispositivo para rehabilitación de parálisis facial por estimulación eléctrica	Fecha: 05/04/2020
			Revisado: J.M.C.D.
Cliente: Personas que se ven afectados por la parálisis facial y clínicas de terapia			Elaborado: L.S.D.V.
Fecha (Cambios)	Deseo o exigencia	Descripción	Responsable
05/04/2020	E	FUNCION PRINCIPAL: Aplicar las estimulaciones eléctricas para la rehabilitación del paciente afectado por parálisis facial.	L.S.D.V.
		Geometría	L.S.D.V.
09/04/2020	D	La máscara deberá ser a la medida de la cabeza de una persona adulta. El contorno (perímetro) deberá ser entre 52- 60 cm. (OMS, 2019).	L.S.D.V.
		Energía	
09/04/2020	E	Batería de 3.7V, corriente eléctrica, corriente de rehabilitación.	L.S.D.V.
		Cinemática	
09/04/2020	E	No habrá mecanismos para el movimiento, aunque será regulable para la comodidad del paciente.	L.S.D.V.
		Señales	
09/04/2020	E	Entrada: Información de la terapia, señal de encendido/apagado, señal de inicio, señal de pulsación de emergencia, señal de parada. Salida: duración de la terapia, estado de la batería, estado de la terapia.	L.S.D.V.
		Control	
09/04/2020	E E E	Regular la corriente con función del tiempo. Apagado de emergencia automático en caso de que el dispositivo se quede sin batería o no responda a las indicaciones del usuario. El software no deberá permitir al usuario colocar corrientes fuera del límite de	L.S.D.V.

		seguridad de la persona, por lo que si se llegara a sobrepasar dicho limite se apagará automáticamente.	
		Interfaz	
09/04/2020	E	La interfaz gráfica deberá ser intuitiva para que el usuario pueda seleccionar los pasos.	L.S.D.V.
	E	La interfaz mostrará el estado de la terapia, así como el tiempo.	
		Comunicación	
05/04/2020	E	Comunicación de la máscara con el microcontrolador mediante cables delgados, para que este último envíe la intensidad de corriente para realizar la estimulación eléctrica.	L.S.D.V.
		Electrónica	
10/05/2020	E	Sensores: Sensor de corriente, de voltaje. Actuadores: Electrodo. Procesamiento: Microcontrolador, PC.	L.S.D.V.
		Seguridad	
09/04/2020	E	Fijación de los electrodos en la máscara para que no se muevan al momento de colocarse el usuario.	L.S.D.V.
	E	Uso de circuitos de protección para no generar intensidades de corrientes mayor a 30mA.	
	E	Botón de emergencia para detener el dispositivo en caso de que no responda a las instrucciones del usuario	
	E	Se busca que la persona se encuentre protegida contra el riesgo eléctrico según norma IEC 60601-1:2005+AMD1:2012 Medical electrical equipment.	
		Ergonomía	
09/04/2020	D	La mascarará no deberá ser pesada, tendrá que ser aproximadamente menor a 450 g. (Ministerio de Trabajo de España,2000).	L.S.D.V.
		Fabricación	
09/04/2020	E	El dispositivo tendrá un diseño compacto para que se pueda realizar la terapia en casa o en cualquier otra parte.	L.S.D.V.
		Uso	

09/04/2020	E E E E	<p>No se necesitará la presencia de un terapeuta para la rehabilitación.</p> <p>El sistema se usará una vez que el doctor le haya dado las indicaciones sobre la terapia.</p> <p>El tiempo de sesiones no debe ser no mayor a 30 minutos. (Crepón, 2008)</p> <p>El dispositivo deberá ser diseñado para trabajar bajo condiciones de la costa peruana, en particular Lima. Una altitud de 161 m.s.n.m, una temperatura de 14 a 28 °C y 85% de humedad. (SENAMHI - Perú, 2020)</p>	L.S.D.V.
Mantenimiento			
09/04/2020	E D	<p>Revisar que los electrodos no se hayan movido debido a la colocación de la máscara, así como que la batería este cargada. Se realizará después de cada sesión.</p> <p>Los electrodos se podrán sacar para limpiar la máscara si se ensucia.</p>	L.S.D.V.
Costo			
09/04/2020	E	El costo de la fabricación no debe exceder a los 2500 soles.	L.S.D.V.
Plazos			
09/04/2020	E	La entrega del diseño preliminar del dispositivo debe ser entregado al fin del curso de Trabajo de Fin de Carrera 2.	L.S.D.V.

Anexo 2: Estructura de funciones



BIBLIOGRAFÍA

- 3 tratamientos de fisioterapia para la parálisis facial | América Televisión.* (n.d.). Retrieved April 18, 2020, from <https://www.americatv.com.pe/doctor-tv/3-tratamientos-fisioterapia-paralisis-facial-noticia-27865>
- Antonio García Piña, J., Gómez Pedroso Balandrano, A., Alerto Teliz Meneses, M., Durán Gutiérrez, A., López Mateos, A., de Servicio CMF Hosp Regional Lic Adolfo López Mateos, J., & CMF Hosp Regional Lic Adolfo López Mateos, A. (2014). Parálisis de Bell: Algoritmo actual y revisión de la literatura. *Cirugía Bucal*, 7(2), 68–75. <http://www.medigraphic.com/cirugiabucal>
- Avendaño-sosa, G. M., Sánchez-ramón, J., Valier-izquierdo, C. Y., Rita, B., Rosa, I., & González, A. (2015). Experiencia en el manejo de parálisis facial periférica con vendaje neuromuscular en el Centro de Rehabilitación y Educación Especial de Tabasco. *Salud En Tabasco*, 21(2–3), 71–77.
- Benítez s., Troncoso O., MoyaF., M. M. O. F. P. (2016). Manejo Integral De La Parálisis Facial Multidisciplinary Management of Facial Paralysis. [*Rev. Med. Clin. Condes - 2016; 27(1) 22-28*] *Manejo*, 27(1), 22–28.
- Chen, N., Zhou, M., He, L., Zhou, D., & Li, N. (2010). Acupuncture for Bell ' s palsy (Review). *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 8.
- Crépon, F., Doubrère, J.-F., Vanderthommen, M., Castel-Kremer, E., & Cadet, G. (2008). Electroterapia. Electroestimulación. *EMC - Kinesiterapia - Medicina Física*, 29(1), 1–20. [https://doi.org/10.1016/s1293-2965\(08\)70745-x](https://doi.org/10.1016/s1293-2965(08)70745-x)
- Darrouzet, V., Houliat, T., Lacher Fougere, S., & Bébéar, J. P. (2002). Parálisis faciales. *EMC - Otorrinolaringología*, 31(2), 1–16. [https://doi.org/10.1016/s1632-3475\(02\)71992-9](https://doi.org/10.1016/s1632-3475(02)71992-9)
- Devèze, A., Ambrun, A., Gratacap, M., Céruse, P., Dubreuil, C., & Tringali, S. (2013). Parálisis facial periférica. *EMC - Otorrinolaringología*, 42(4), 1–24. [https://doi.org/10.1016/s1632-3475\(13\)65962-7](https://doi.org/10.1016/s1632-3475(13)65962-7)
- Díaz, D. O. A. (2010). *Celebración día del niño y Concurso de dibujo ¿ Qué quiero ser de grande ? Eventos.*
- Dittmar, C., Denzler, J., & Gross, H. M. (2017). A Feedback Estimation Approach for Therapeutic Facial Training. *Proceedings - 12th IEEE International Conference on*

Automatic Face and Gesture Recognition, FG 2017 - 1st International Workshop on Adaptive Shot Learning for Gesture Understanding and Production, ASLAGUP 2017, Biometrics in the Wild, Bwild 2017, Heteroge, 141–148.

<https://doi.org/10.1109/FG.2017.26>

Dušan Petković. (2015). Modern Temporal Data Models: Strengths and Weaknesses.

Communications in Computer and Information Science, 521, 136–146.

<https://doi.org/10.1007/978-3-319-18422-7>

Escudero., P. M. D. Á. T. (2007). *Fisioterapia de la parálisis facial*.

<https://www.efisioterapia.net/articulos/fisioterapia-la-paralisis-facial>

Examiner, P., & Dvorak, L. C. M. (2001). *g. I*(12).

Farádica, C. (2016). Radiofrecuencia vs Corriente Farádica en la rehabilitación funcional de pacientes con parálisis facial periférica. *Revista Científica Ciencia Médica*, 19(2), 5–13.

Firouzeh, A., & Paik, J. (2017). Soft actuation and sensing towards robot-assisted facial rehabilitation. *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2017-Septe*, 306–313. <https://doi.org/10.1109/IROS.2017.8202173>

Frigerio, A., Heaton, J. T., Cavallari, P., Knox, C., Hohman, M. H., & Hadlock, T. A. (2015). Electrical stimulation of eye blink in individuals with acute facial palsy: Progress toward a bionic blink. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 136(4), 515e-523e.

<https://doi.org/10.1097/PRS.0000000000001639>

Guyot, J. P., Sigrist, A., Pelizzone, M., Feigl, G. C., & Kos, M. I. (2011). Eye movements in response to electrical stimulation of the lateral and superior ampullary nerves. *Annals of Otolaryngology, Rhinology and Laryngology*, 120(2), 81–87.

<https://doi.org/10.1177/000348941112000202>

James A. Owusu, C. Matthew Stewart, K. B. (2019). *Parálisis del nervio facial - Artículos - IntraMed*. <https://www.intramed.net/contenidover.asp?contenidoid=93506>

Jayatilake, D., Isezaki, T., Teramoto, Y., Eguchi, K., & Suzuki, K. (2014). Robot assisted physiotherapy to support rehabilitation of facial paralysis. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 22(3), 644–653.

<https://doi.org/10.1109/TNSRE.2013.2279169>

Käfer, J. P. (1954). Tratamiento de la parálisis facial. *Archivos de Neuro-Psiquiatria*, 12(4), 361–376. <https://doi.org/10.1590/s0004-282x1954000400002>

Katz, R. (2015). United States: UNITED STATES. *European Journal of Political Research Political Data Yearbook*, 54(1), 309–315. <https://doi.org/10.1111/2047-8852.12112>

Kozaki, Y., & Suzuki, K. (2017). A facial wearable robot with eyelid gating mechanism for

- supporting eye blink. *2016 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science, MHS 2016*. <https://doi.org/10.1109/MHS.2016.7824150>
- Lu, T. H. U., & Itur, L. (2017). *Thu lu lulu itur*. 2.
- Parálisis de Bell : National Institute of Neurological Disorders and Stroke (NINDS)*. (n.d.). Retrieved April 18, 2020, from https://espanol.ninds.nih.gov/trastornos/paralisis_de_bell.htm
- Parálisis facial: Seis datos que debes conocer sobre este mal Ciencias | El Comercio Perú*. (n.d.). Retrieved April 18, 2020, from <https://elcomercio.pe/tecnologia/ciencias/paralisis-facial-seis-datos-debes-conocer-mal-noticia-534612-noticia/?ref=ecr>
- Postgrado, U. D. E. (2008). *Características epidemiológicas, clínicas y electrofisiológicas de la parálisis de Bell*:
- Quinn, R., & Cramp, F. (2003). *Postgraduate Student Review Competition THE EFFICACY OF ELECTROTHERAPY FOR BELL ' S PALSY : A SYSTEMATIC REVIEW*. 151–164. <https://doi.org/10.1179/10833190322500247>
- Quintero Muñoz, J. E. (2015). Desarrollo de equipo prototipo para aplicación de estimulación eléctrica transcutánea en procesos de neurorrehabilitación de personas con parálisis facial periférica. *Revista ESAICA*, 1(1), 4. <https://doi.org/10.15649/24225126.265>
- Ref, G. M. (2019). *Greater Manchester EUR Policy Statement on : Trophic Electrical Stimulation (TES) for Facial Palsy*. 2(January).
- Ruiz, S., & Rijavec, M. C. (1983). Parálisis Facial. *Cirugia Plastica Ibero-Latinoamericana*, 9(4), 373–378.
- Tarquino, I. J., Cisneros, C., Lady, D. J., Amaya, R., González, G., Jesennia, S., Pérez, M., & Yarellys, Y. (n.d.). *ESTADÍSTICAS EN SALUD Y LOS FACTORES QUE PRODUCEN PARÁLISIS DE BELL*.
- Ventajas y desventajas de la fisioterapia a domicilio | Fisioterapia*. (n.d.). Retrieved April 18, 2020, from <https://fisiostar.com/fisioterapia-fisiostar/ventajas-y-desventajas-de-la-fisioterapia-a-domicilio>
- Volume, V., & Social, S. (2004). Guía clínica para la rehabilitación del paciente con parálisis facial periférica. *Revista Medica Del Instituto Mexicano Del Seguro Social*, 42(5), 425–436.