



OXÍMETRO DE PULSO

PARA USO PROLONGADO

PRESENTA: JÉSSICA TAMARA DEL MORAL VIDAL

REPORTE DE INVESTIGACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO DE
DISEÑADORA INDUSTRIAL

Ciudad Universitaria | CDMX | 2016

Universidad Nacional Autónoma de México | Facultad de Arquitectura | Centro de Investigaciones de Diseño Industrial



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

OXÍMETRO DE PULSO PARA USO PROLONGADO

Reporte de investigación para obtener el título de
Diseñadora Industrial,
presenta:

Jésica Tamara Del Moral Vidal

Este proyecto fue dirigido por
D.I. Héctor López Aguado

Asesores

D.I. José Luis Alegría Formoso
M.D.I. Mauricio Moyssén Chávez
M. en A. Abel Salto Rojas
D.I. Jorge Vadillo López

Ciudad Universitaria, CDMX, 2016



Declaro que este proyecto es totalmente de mi autoría y que no ha sido presentado previamente en ninguna otra institución educativa. Autorizo a la UNAM para que publique este documento por los medios que considere pertinentes.

AGRADECIMIENTOS

A mis papás, a mi hermana, a mis abuelitos y a chiwi, por todo el apoyo recibido en todos los momentos, incluidos los puntos de colapso y de hambre mortal.

A mi familia, cercana y un poquito menos próxima, por todo el amor, apoyo y presencia en los momentos más importantes y/o complicados.

A mis amigos de todas las etapas, quienes más que sólo amigos han sido parte fundamental de mi vida, nada habría sido lo mismo sin ustedes.

A todos aquellos que me apoyaron con la lectura del documento y que se prestaron para ser medidos.

A mis maestros y al CIDI, por todo.

A Erika y a Mathieu por la oportunidad de participar en este proyecto, siempre había tenido curiosidad por los proyectos relacionados con el ámbito médico y esta fue la oportunidad perfecta para tener un acercamiento a este ámbito.

0. Presentación

0.1 ¿QUÉ ES UN OXÍMETRO DE PULSO?	14
0.2 EL PROYECTO	16
0.3 RESUMEN	18
0.4 ANTECEDENTES	20
0.4.1 EL OXÍGENO	20
0.4.2 LA RESPIRACIÓN	20
0.4.3 ATP	22
0.4.4 LA SANGRE	22
0.4.5 HEMOGLOBINA	22

1. Falta de oxígeno

1.1 HIPOXIA E HIPOXEMIA	26
1.2 GRUPOS VULNERABLES	28
1.2.1 ADULTOS MAYORES	28
1.3 ENFERMEDADES QUE LA OCASIONAN	29
1.3.1 ERC	29
1.3.2 ENFERMEDADES CARDIACAS	34
1.3.3 ANEMIA	36
1.3.4 FIBROSIS QUÍSTICA	37
1.4 TERAPIA CON OXÍGENO	38
CONCLUSIONES	39

2. Oximetría

2.1 MEDICIÓN DE LA SpO_2	42
2.2 PRINCIPIOS	43
2.2.1 LEY DE BEER-LAMBERT	43
2.3 CONFIGURACIONES	46
2.4 OXÍMETROS DE PULSO	47
2.5 SECUENCIA DE USO	49
2.6 ANÁLISIS ERGONÓMICO	50
2.7 REFERENTES EN EL MERCADO	51
2.7.1 ANÁLISIS	52
2.8 LESIONES CAUSADAS POR OXÍMETROS	54
CONCLUSIONES	57





3. Wearables

3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES	61
3.2 TECNOLOGÍA	63
3.2.1 BLUETOOTH	63
3.2.2 ENERGÍA	64
3.3 CERTIFICACIONES	66
3.4 PRODUCTOS EN EL MERCADO	68
3.4.1 ITBRA	69
3.4.2 VALEDO	70
3.4.3 QUELL	72
3.4.4 HEALTHPATCH MD	74
3.4.5 ADAMM	76
CONCLUSIONES	77

4. Materiales

4.1 POLÍMEROS DE GRADO MÉDICO	80
4.1.1 POLICLORURO DE VINILO (PVC)	81
4.1.2 POLIPROPILENO (PP)	82
4.1.3 POLIETILENO (PE)	84
4.1.4 POLIESTER	86
4.1.5 POLIESTIRENO (PS)	88
4.2 BIOMATERIALES	90
CONCLUSIONES	91



5. Proceso de diseño

5.1 USUARIO	95
5.1.1 UN DÍA EN LA VIDA	96
5.2 DELIMITANTES	101
5.2.1 PACIENTE	101
5.2.2 ELEMENTOS ELECTRÓNICOS	102
5.3 POSICIÓN EN EL CUERPO	105
5.3.1 PIES	106
5.3.2 MANOS	107
5.3.3 OREJAS	108
5.4 MORFOLOGÍA DE LA OREJA	110
5.4.1 ZONAS DE COLOCACIÓN	111
5.5 WEARABLES PARA LA OREJA	112
5.5.1 INNER BALANCE	113
5.5.2 COSINUSS° ONE	114
5.5.3 THE DASH	115
5.5.4 BITBITE	116
5.5.5 ASPECTOS ÚTILES	117
5.6 PROPUESTAS GENERALES	118
5.7 CONCEPTOS DE DISEÑO	120
5.7.1 MÍMESIS	120
5.7.2 EVIDENTE	122
5.8 SELECCIÓN DE CONCEPTO	136

5.9 PROPUESTA FINAL	137	CONCLUSIONES	193
5.10 MORFOMETRÍA DE LA OREJA	138	PROPUESTA DE VALOR	194
5.10.1 GROSOR DEL LÓBULO	141	FUTURO DEL PROYECTO	195
5.10.2 ANTROPOMETRÍA	142	REFLEXIONES PERSONALES	196
5.11 DIMENSIONAMIENTO	143		
5.12 MODELO	144	ANEXOS	198
5.12.1 SENSOR	145	GLOSARIO	199
5.12.2 SOM	147	PRUEBAS PROPUESTA A	203
5.13 EVALUACIÓN DEL MODELO	148	PRUEBAS PROPUESTA FINAL	204
5.14 DIMENSIONES FINALES	150	REFERENCIAS	206
5.14.2 SENSOR	150		
5.14.3 LONGITUD DEL CABLE	151		
5.14.4 SOM	152		
5.15 MEMORIA DESCRIPTIVA	156		
5.15.1 FUNCIÓN	158		
5.15.2 DINÁMICA PRODUCTIVA	164		
5.15.3 FABRICACIÓN	168		
5.15.4 SECUENCIA DE USO	170		
5.15.5 ESTÉTICA	172		
5.16 COSTO DEL PROTOTIPO	174		
5.17 FODA	176		
RENTERS	177		
PLANOS	184		



Modelo portando oxímetro. Imagen base tomada de ¹, inclusión del oxímetro por Tamara Del Moral

FICHA TÉCNICA

Oxímetro de pulso para uso prolongado, elaborado en conjunto con el Laboratorio de Óptica Láser de la Facultad de Ciencias de la UNAM.

Consta de dos elementos, el sensor y el SoM, encargados de recolectar y procesar la información necesaria para que el paciente conozca su saturación de oxígeno en la sangre. Se emplea tecnología inalámbrica para la transmisión de datos aunque también cuenta con la opción de transmitir información de manera alámbrica.

Su configuración permite al usuario realizar sus actividades diarias de manera normal pues no interfiere con sus manos. Se cuenta con el diseño en dos tamaños estándar, el chico y el grande, para aquellos pacientes cuyas orejas sean distintas a estas dimensiones se consideró un tercer archivo para la impresión del sensor, el cual permite ajustarlo a las dimensiones precisas de la oreja del usuario.

Está elaborado en ABS, mediante inyección (SoM) e impresión 3D (Sensor), se optó por incluir este método de producción para facilitar su adaptación a los distintos tamaños de oreja existentes. El mercado meta son todas aquellas personas mayores de 18 años con alguna enfermedad que afecte la concentración de oxígeno en la sangre.

0.1 ¿QUÉ ES UN OXÍMETRO DE PULSO?

Esta ha sido la pregunta que más veces he contestado durante la elaboración de esta investigación. En general la gente desconoce la existencia de este elemento aunque muchos hemos estado en contacto con oxímetros de pulso, suelen ser usados por médicos durante consultas de rutina o en las cirugías.

Un oxímetro de pulso es un dispositivo que permite conocer la cantidad de oxígeno en la sangre de una persona, para su realización y funcionamiento, intervienen varias áreas del conocimiento.

Mi llegada a este proyecto sucedió de una manera inesperada, conocí a Erika durante las entrevistas para el HackUNAM 2014, competencia para generar apps para teléfonos inteligentes. Durante la conversación apareció el proyecto, ella se encontraba desarrollando un oxímetro de pulso, de bajo costo, que permitiera usarlo durante un periodo prolongado, el cual además pueda ser integrado al mercado como un wearable.

Junto con su asesor, el Dr. Mathieu Hautefeuille, habían pensado buscar un diseñador que se encargara de la interacción con el usuario, me propuse para ser ese diseñador pues me encontraba en búsqueda de un proyecto para realizar mi tesis.

El proyecto se lleva a cabo por el equipo conformado por Erika Araceli González Villa, de la Facultad de Ciencias, Jehú López Aparicio, profesor de la Facultad de Ciencias, bajo la supervisión del Dr. Mathieu Christian Anne Hautefeuille y el Dr. Víctor Manuel Velázquez Águilar.

Me integré al equipo en Septiembre de 2014, ahí inicié mi intervención en el Oxímetro de pulso para uso prolongado.



Médico colocando oxímetro al paciente. Imagen tomada de ².

0.2 EL PROYECTO

El objetivo inicial de este trabajo fue generar un prototipo de oxímetro de pulso que además del porcentaje de oxígeno en la sangre y el ritmo cardiaco, sea capaz de obtener registros de datos de la actividad cardiaca por periodos prolongados; esta primer etapa del proyecto implica el desarrollo y programación de los Elementos Electrónicos (EE), fue desarrollada por el equipo en la facultad de ciencias.

La segunda etapa del proyecto implica crear una interfaz que permita a los usuarios utilizar el oxímetro mientras realizan sus actividades cotidianas, este debe poseer una estética que responda al las tendencias de diseño aplicadas a los wearables, esta es la etapa que se presenta en este documento.

Algunas de las características establecidas por el equipo incluyen: el oxímetro estará compuesto por dos elementos principales: el sensor (LEDs y fotodetector) y el microcontrolador, ambos elementos conforma a los EE; el uso de tecnología inalámbrica para la transmisión de datos entre el dispositivo y un teléfono inteligente o un equipo de cómputo;

y el uso de la placa Arduino UNO como base para el desarrollo del microcontrolador. Además se establece como una de las guías principales, buscar que el precio al público sea el menor posible.

En el 2015, este proyecto fue presentado en el congreso SPIE Microtechnologies, durante la conferencia Cyber Physical Systems. Además de dicha presentación, se publicó el proyecto bajo el nombre Use of a Prototype Pulse Oximeter for Time Series Analysis of Heart Rate Variability.



0.3 RESUMEN

Para el desarrollo de este documento se optó por seguir el método CIDI, este consta de tres etapas generales: investigación, exploración y desarrollo de la propuesta final.

La primer fase abarca los antecedentes, el capítulo uno y parte del capítulo dos. Para poder ubicar al lector en un contexto general, se decidió hablar sobre la relación entre el oxígeno y el cuerpo humano, cómo este llega desde el exterior hasta los tejidos que conforman el cuerpo humano, y cuáles son las funciones que el oxígeno cumple. En esta parte de la investigación se establece la relevancia del oxígeno en el cuerpo humano.

En el primer capítulo se hablará sobre la hipoxia e hipoxemia, situaciones distintas entre sí, en las que se presenta disminución del oxígeno en el cuerpo humano. Se indaga en los grupos que resultan más propensos a sufrir de falta de oxígeno y los factores que los identifican. La información presentada en este capítulo permite delimitar características de los usuarios del oxímetro.

En el segundo capítulo se presenta una aproximación al mundo de la oximetría en su definición general, se describen los métodos que permiten conocer la concentración de oxígeno en la sangre. Posteriormente se describen los fundamentos físicos que permiten medir la saturación de oxígeno en la sangre de manera no invasiva. Hasta este punto llega la primer etapa.

El inicio de la segunda etapa comienza con la exploración en el mercado de los distintos tipos de oxímetros de pulso, clasificados según su uso para posteriormente mostrar un análisis de análogos y homólogos de oxímetros de pulso portátiles. Como parte final de este capítulo se presenta la secuencia de uso de un oxímetro de pulso comercial junto con el análisis ergonómico del mismo.

Aunque entre los objetivos de este proyecto se encuentra incorporar al oxímetro al mundo de los wearables, no se debe olvidar que sigue siendo un dispositivo médico, los cuales deben cumplir estrictas normas para evitar causar lesiones a los pacientes. Por ello, es importante elegir los materiales adecuados para el diseño del oxímetro, por lo tanto, el capítulo cuatro está dedicado al análisis de los materiales más comúnmente utilizados en productos médicos.

Durante el quinto capítulo se habla sobre las delimitantes del usuario, tanto aquellas proporcionadas por el equipo, como son los EE, como aquellas propias de los usuarios. Respecto a los EE se mencionan sus características físicas; para ahondar en las características de los usuarios se presenta la narración de un día en la vida de un paciente con una enfermedad respiratoria.

Posteriormente y según la información presentada, se hace un análisis de las partes del cuerpo donde se puede colocar el oxímetro. Una vez definido

dónde se colocará se presentan características útiles de dicha zona.

Como análisis previo a la realización de las propuestas, se muestra una breve investigación de mercado sobre wearables que se colocan en esa misma parte del cuerpo.

Finalmente, como cierre de la etapa de exploración, se presentan los conceptos y las propuestas experimentales, tanto para el sensor como para el soporte del microcontrolador (SoM).

Como inicio de la tercer etapa, se presenta la propuesta final. Para dimensionar adecuadamente se analizan diversos estudios existentes y se realizan mediciones antropométricas pertinentes. Una vez dimensionado, se procede a la fabricación del modelo, con él se realizan pruebas para comprobar lo planteado y así poder detallar el producto.

0.4 ANTECEDENTES

0.4.1 EL OXÍGENO

El oxígeno (O_2) es uno de los elementos más importantes para el desarrollo de la vida. Este se encuentra en estado gaseoso en el aire que nos rodea, constituye aproximadamente el 21% de esta mezcla, el resto se encuentra compuesto en un 78% por nitrógeno y 1% por otras sustancias gaseosas³.

En el cuerpo humano lo emplean las células para poder producir energía y cumplir adecuadamente sus funciones. Para que el O_2 pueda llegar hasta las células es necesario que sea inhalado, este representa el primer paso de la respiración.

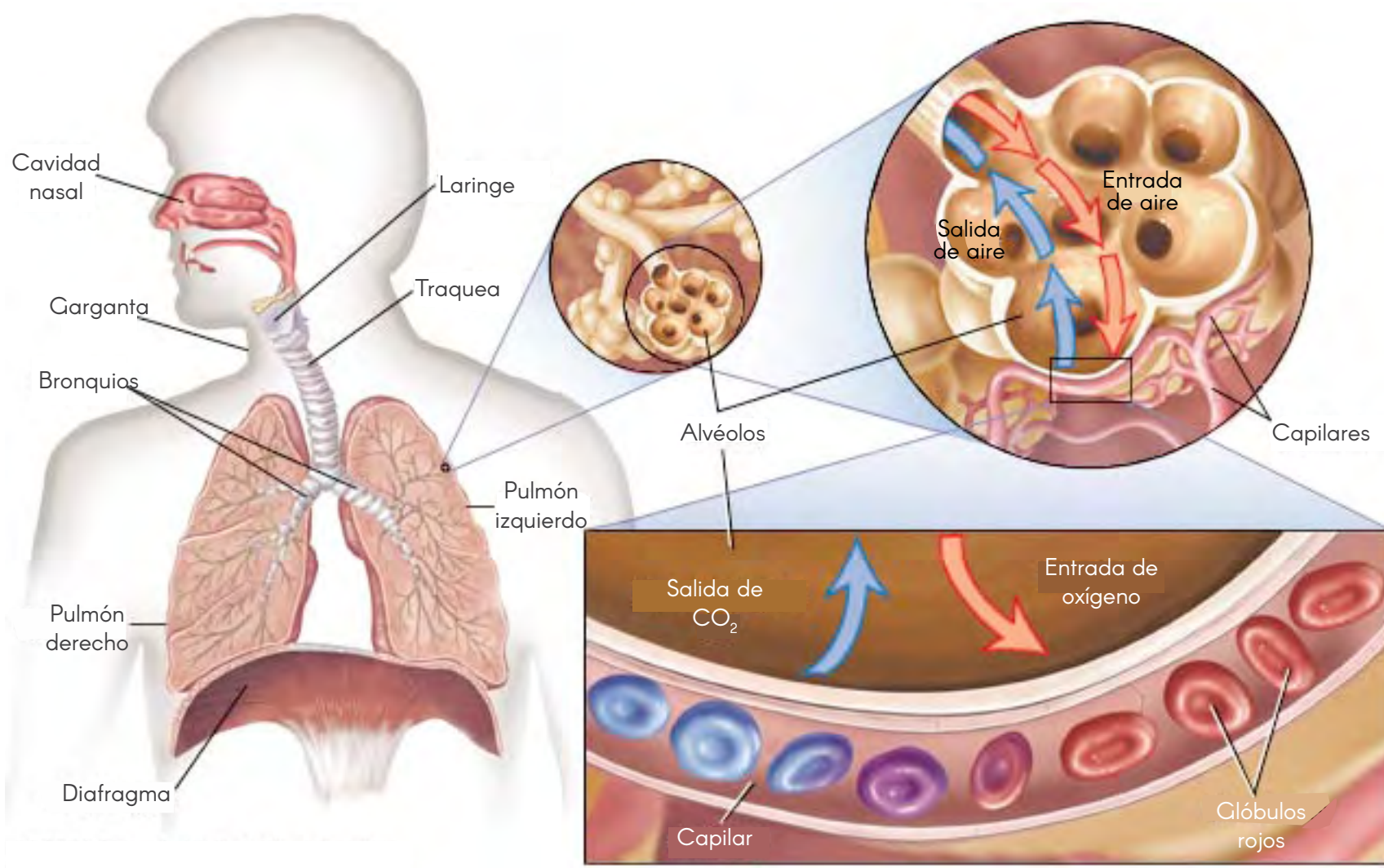
0.4.2 LA RESPIRACIÓN

La respiración está compuesta por tres etapas, la primera está formada por la inspiración y la espiración. En esta se realiza el intercambio gaseoso entre los alvéolos pulmonares y la atmósfera, el cual se logra gracias a la contracción y relajación de los músculos respiratorios.

La segunda y tercer etapa de la respiración están compuestas por la respiración externa y la respiración interna.

La respiración externa ocurre cuando se difunde el O_2 desde el aire de los alvéolos pulmonares a la sangre, al mismo tiempo se difunde el CO_2 en sentido contrario. En esta etapa, la sangre desoxigenada proveniente del ventrículo derecho se convierte en sangre oxigenada, después se transporta al ventrículo izquierdo y se bombea al resto del cuerpo.

El ventrículo izquierdo bombea la sangre oxigenada desde el corazón hasta los capilares, ahí ocurre el intercambio de O_2 entre la sangre y las células, esto sucede en todos los tejidos del cuerpo. Cuando el O_2 pasa a los tejidos, la sangre oxigenada se convierte en sangre desoxigenada.



0.4.3 ATP

Al llegar a los capilares, el oxígeno es transportado a los tejidos y al líquido intersticial, donde es usado en el proceso de respiración celular, el cual genera ATP (Adenosín trifosfato). El ATP proporciona la energía necesaria para realizar diversas funciones en el cuerpo humano, como las contracciones musculares⁵.

0.4.4 LA SANGRE

La sangre es la encargada de transportar el oxígeno desde los pulmones hasta los tejidos, además transporta nutrientes, ayuda a regular el pH y la temperatura corporal⁵.

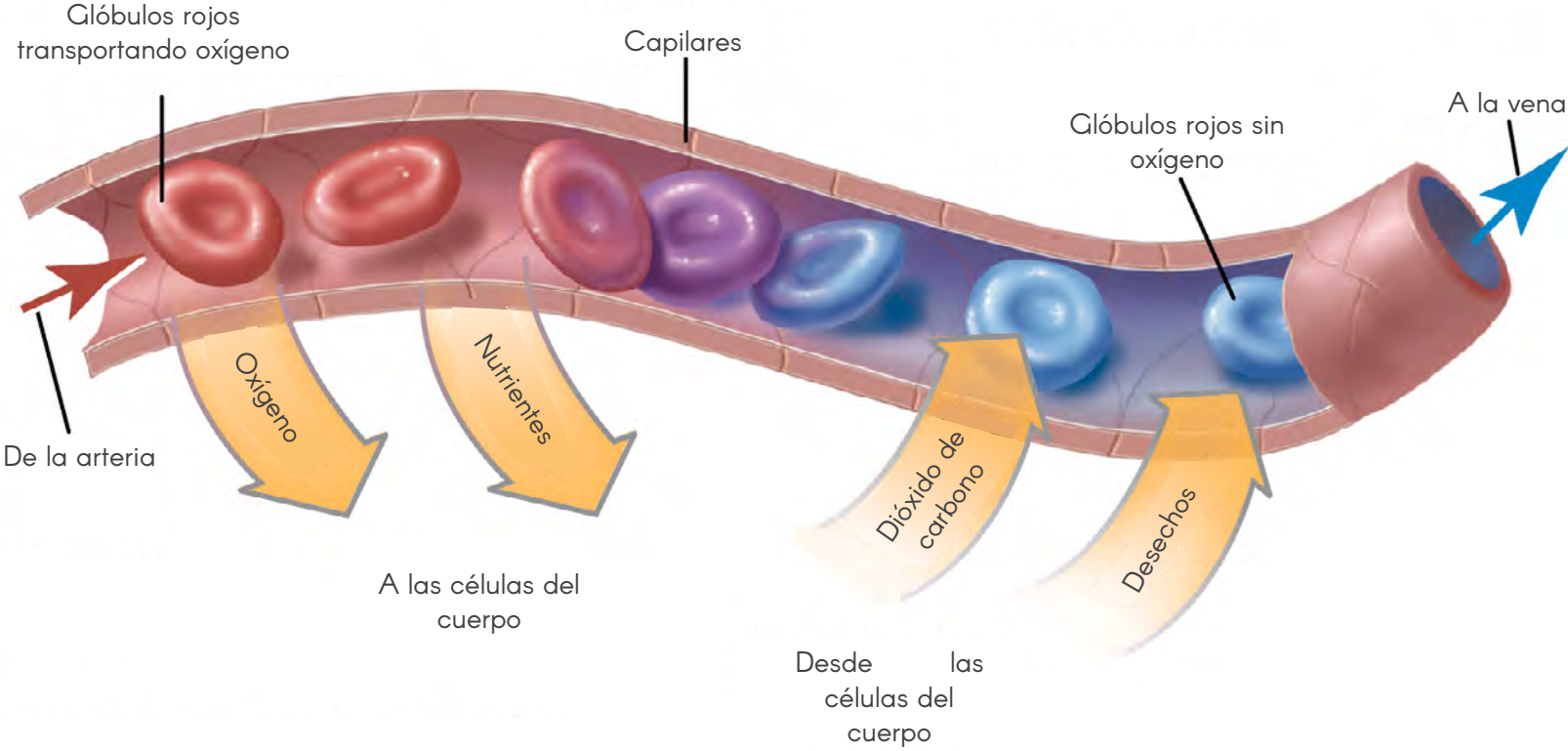
Está compuesta por glóbulos rojos, estos se encargan de transportar el oxígeno gracias a la hemoglobina, la cual es el pigmento respiratorio que da su color característico a la sangre.

0.4.5 HEMOGLOBINA

Cada glóbulo rojo está compuesto por 280 millones de moléculas de hemoglobina, cada una de ellas es capaz de transportar cuatro moléculas de oxígeno⁵.


Una de las características de la hemoglobina es que cambia su color ante la presencia o ausencia de oxígeno. Cuando la hemoglobina está completamente saturada con oxígeno su color es rojo brillante y se le conoce como oxihemoglobina (HbO_2); cuando no está completamente saturada su color es rojo oscuro y se conoce como hemoglobina reducida (HbR). Este cambio de color es uno de los factores que permite medir la concentración de oxígeno en la sangre⁶.

Lo aquí expuesto ocurre en organismos sanos pero, ¿qué sucede cuando alguna condición física genera falta de oxígeno en el cuerpo?, ¿qué lo ocasiona y cuáles son sus consecuencias?.



Intercambio de oxígeno y nutrientes en los capilares. Imagen tomada de 7.

1. Falta de oxígeno en la sangre

A mountain climber is seen from a high angle, ascending a steep, rocky mountain slope. The climber is wearing a white helmet, a dark jacket with a red collar, and a large black backpack. They are equipped with climbing gear, including ropes and carabiners. The terrain is rugged and rocky, with some snow patches. The background shows a vast, open mountain landscape under a clear sky.

El aparato respiratorio y el aparato cardiovascular son los encargados de distribuir el oxígeno en el cuerpo, por consiguiente aunque no de manera excluyente, la falla en alguno de los componentes de cualquiera de los aparatos puede causar falta de oxígeno. Durante este capítulo se hablará de algunos factores que pueden causar la disminución de oxígeno en la sangre, tales como el envejecimiento o algunas enfermedades.

1.1 HIPOXIA E HIPOXEMIA

La falta de oxígeno en el cuerpo puede presentarse bajo dos condiciones distintas que es importante conocer: la hipoxia y la hipoxemia.

La hipoxemia es la disminución de la cantidad de oxígeno en la sangre arterial, puede deberse a la altura, a la disminución de O_2 en espacios cerrados, trastornos en la ventilación pulmonar, enfermedades crónicas pulmonares y cardíacas, entre otras.

La hipoxia es la disminución del aporte de oxígeno a las células⁹, limita la producción de energía y puede deberse a cualquiera de las causas de la hipoxemia, a problemas en el transporte de oxígeno en la sangre como anemia o intoxicación con CO, fallo en el suministro de la sangre a los tejidos, problemas en el intercambio gaseoso entre los capilares y las células o por consumo excesivo de oxígeno en los tejidos por fiebre alta o exceso de ejercicio.

Puede ser clasificada en cuatro tipos según la causa:

1. Hipoxia hipóxica: ocurre por la disminución en la presión parcial de O_2 en la sangre arterial, ocurre en personas que viven a gran altitud o que padecen una obstrucción en las vías aéreas o líquido en los pulmones.

2. Hipoxia anémica: suele presentarse ante un déficit de hemoglobina funcional. Entre sus causas se encuentran las hemorragias, la anemia y la intoxicación por CO.

3. Hipoxia isquémica: ocurre por un flujo sanguíneo reducido en los tejidos, aunque haya niveles normales en la saturación de oxígeno.

4. Hipoxia histotóxica: los tejidos son incapaces de usar el O_2 transportado por la presencia de algún tóxico como el cianuro.



Oxigenoterapia. Imagen tomada de ¹⁰.

Ante la hipoxia los órganos más afectados son el cerebro y el corazón pues al presentarse una anoxia total de 4 minutos⁹, el daño a ambos es irreversible.

Las primeras señales de la falta de oxígeno pueden pasar desapercibidas si no existe monitoreo, por ello es importante la supervisión. Algunas de estas señales son: disminución en la capacidad de concentración, falta de coordinación motora y ansiedad. Ante un periodo mayor suele presentarse confusión, convulsiones y coma.

La forma de revertir estos daños es aplicar oxigenoterapia ante la sospecha de hipoxia o hipoxemia, por lo tanto, tener conocimiento de la saturación de oxígeno en la sangre puede resultar vital. La manera más sencilla de conocer esta información es mediante el uso de un oxímetro de pulso.

1.2 GRUPOS VULNERABLES

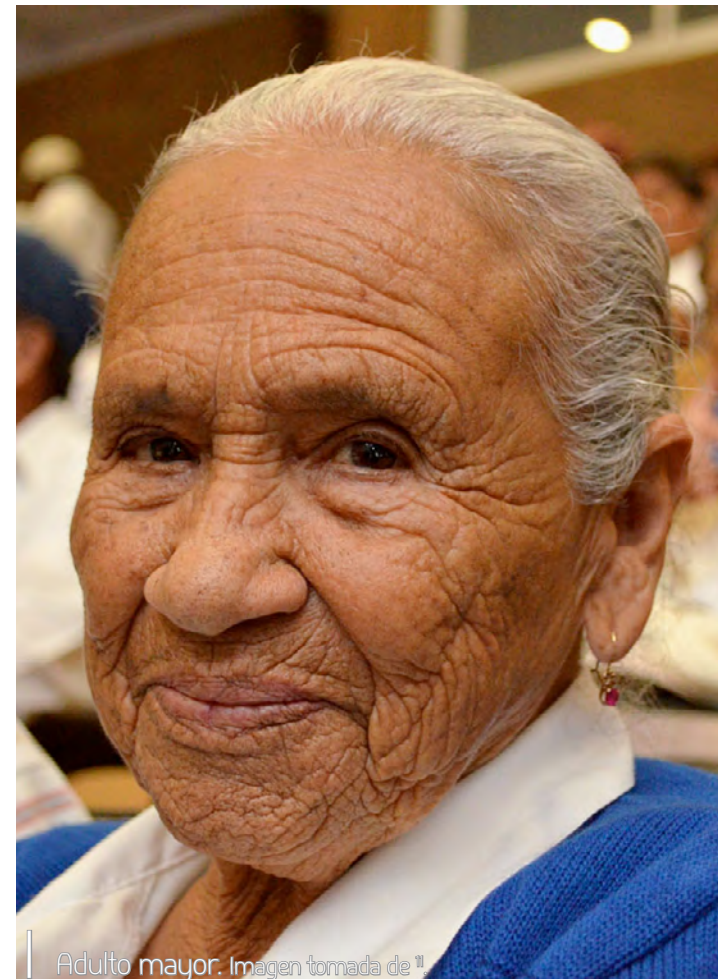
Pese a ser distintas las causas de la hipoxia y la hipoxemia, existen grupos de personas que resultan más propensos a sufrir déficit de oxígeno en la sangre. Estos grupos están compuestos por gente diagnosticada con alguna enfermedad, principalmente respiratoria o cardiovascular, que no permiten una correcta oxigenación; o por personas que por edad son más propensos a sufrir enfermedades respiratorias.

Se comienza analizando a los adultos mayores como grupo vulnerable para posteriormente analizar las enfermedades que causan la falta de oxígeno.

1.2.1 ADULTOS MAYORES

Unos de los efectos del envejecimiento es la disminución de la capacidad pulmonar, esto se debe a la pérdida de elasticidad en las vías aéreas y el aparato respiratorio. A los 70 años, la cantidad máxima de aire que puede ser expulsado tras una inspiración puede disminuir hasta 35%⁵.

Al ser afecciones causadas por el paso del tiempo, las personas mayores son más propensas a tener problemas respiratorios y por lo tanto, problemas de oxigenación.



Adulto mayor. Imagen tomada de ¹

1.3 ENFERMEDADES

Diversas enfermedades pueden disminuir la concentración de oxígeno en la sangre, por lo que el monitoreo constante del O_2 en la sangre puede ser de vital importancia para dichos pacientes; estas están relacionadas principalmente con el aparato respiratorio y el cardiovascular.

Existen enfermedades agudas y crónicas, por el tipo de planteamiento de este proyecto, esta sección se enfocará en enfermedades crónicas pues estas requieren supervisión a largo plazo. A continuación se presentan algunas de las enfermedades que pueden requerir monitoreo continuo de la saturación de oxígeno en la sangre arterial (SaO_2).

1.3.1 ENFERMEDADES RESPIRATORIAS CRÓNICAS (ERC)

Las Enfermedades Respiratorias Crónicas (ERC) son aquellas que afectan a los pulmones o a las vías respiratorias a largo plazo. Algunas de ellas son el Asma, la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC), la Rinitis Alérgica, enfermedades pulmonares de origen laboral y la Hipertensión Pulmonar.

Las principales causales son: fumar, exposición a químicos dañinos en el área de trabajo, contaminación ambiental, exposición a alérgenos y predisposición genética.

Los síntomas más comunes son: tos persistente, falta de aire y secreciones respiratorias¹².

ASMA

El Asma es una enfermedad crónica que inflama y estrecha las vías respiratorias. No existe una cura pero sus síntomas pueden ser controlados. Según datos del IMSS, entre 10 y 12 millones de mexicanos padecen asma, de los cuales 60% son niños¹³.

Aunque no se saben las causas exactas, usualmente se atribuye a la interacción de ciertos factores genéticos y ambientales como pueden ser: tendencia hereditaria a alergias, presencia de asma en el padre o la madre, infecciones respiratorias durante la niñez o exposición a infecciones virales durante los primeros meses o años de vida.

La fase crónica se caracteriza por inflamación, fibrosis, edema y muerte de las células bronquiales.

SÍNTOMAS

Tos, principalmente por la noche
Sibilancias
Presión en el pecho
Taquicardia
Cansancio
Piel húmeda
Ansiedad

Para el control del asma se recomienda tomar los medicamentos prescritos por el médico y evitar factores desencadenantes¹⁴.



| Paciente con asma. Imagen tomada de ¹⁵.

EPOC

La Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC), se caracteriza por la obstrucción crónica del flujo aéreo.

Los principales tipos de EPOC son el Enfisema y la Bronquitis Crónica. Sus causas más frecuentes son el tabaquismo o la inhalación pasiva de humo de cigarro, aunque también afecta la contaminación del aire ambiental, infección pulmonar, exposición ocupacional a polvos y gases, y factores genéticos.

Los síntomas son: tos, grandes cantidades de mucosidad, sibilancias, falta de aliento y presión en el pecho.

ENFISEMA

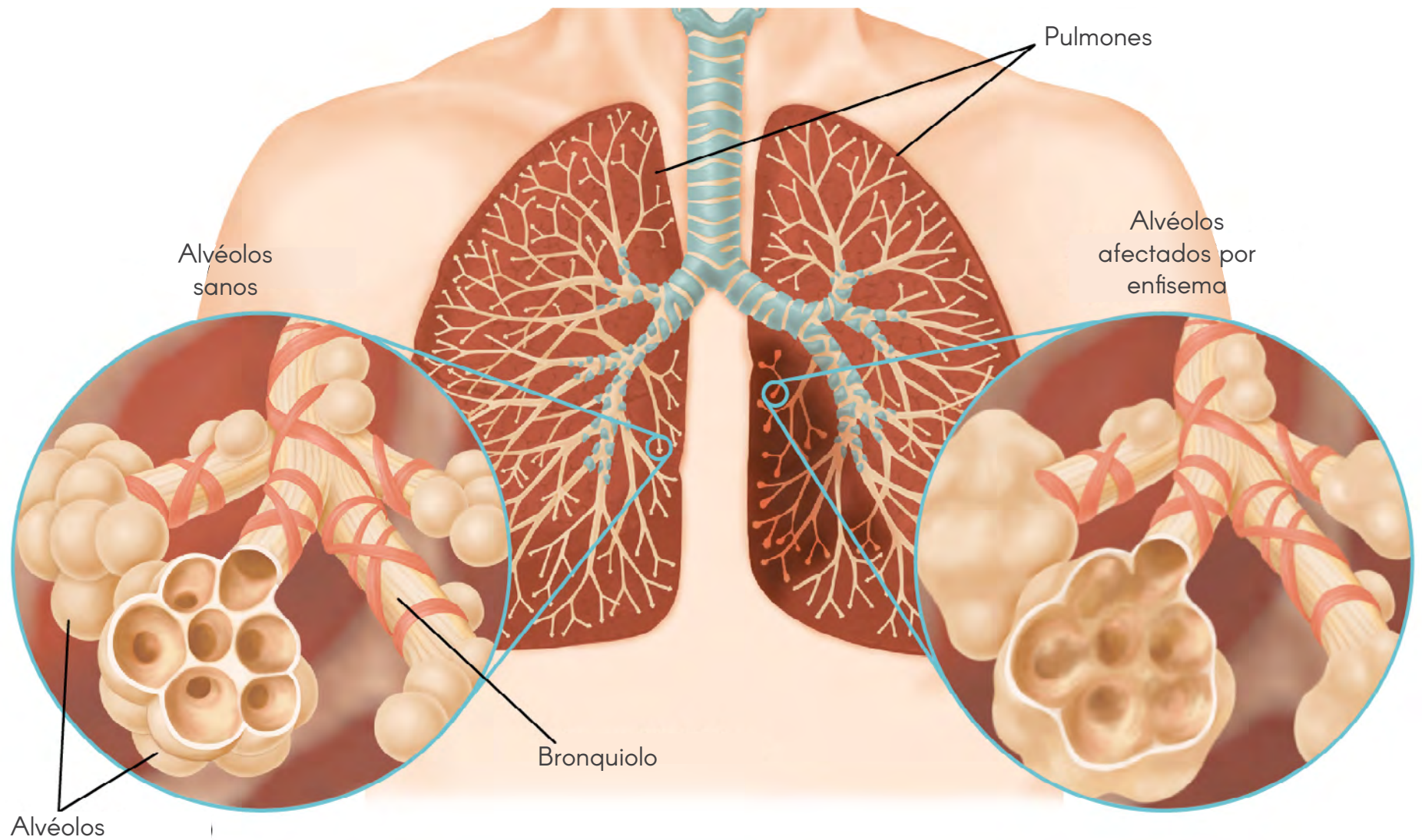
Este trastorno destruye las paredes alveolares, lo que disminuye la superficie para el intercambio de gases, dificulta la liberación de CO₂ y la obtención de O₂ en los pulmones. Al estar reducido el nivel de O₂ en la sangre, cualquier actividad física poco demandante causa fatiga en el paciente.

BRONQUITIS CRÓNICA

Está caracterizada por la presencia excesiva de mucosidad en los bronquios, fumar es su principal causa.

El moco, espeso y abundante, obstruye la vía aérea y dificulta la respiración. Entre sus síntomas también se encuentra la cianosis e hipertensión pulmonar. El tratamiento es similar al del Enfisema.

La mayoría de las personas con EPOC sufren enfisema y bronquitis crónica simultáneamente. Si se presenta EPOC y bajas concentraciones de oxígeno en la sangre, se recomienda rehabilitación pulmonar, la cual incluye terapia con oxígeno, ejercicios, cambio de alimentación, entre otros¹⁶.



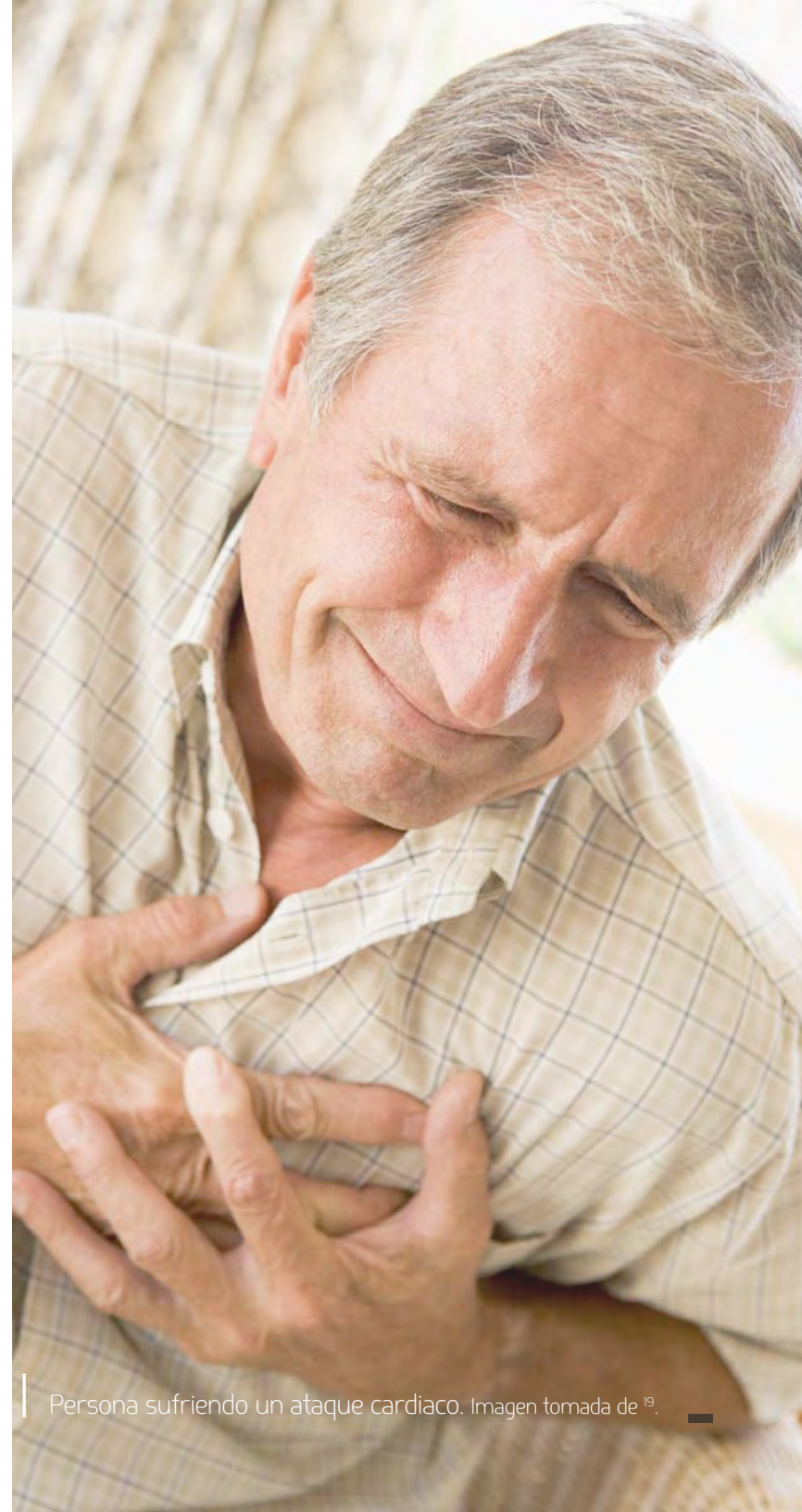
A la izquierda de la imagen se observan alvéolos sanos, a la derecha se presentan alvéolos dañados por EPOC. Imagen tomada de ¹⁷.

1.3.2 ENFERMEDADES CARDIACAS

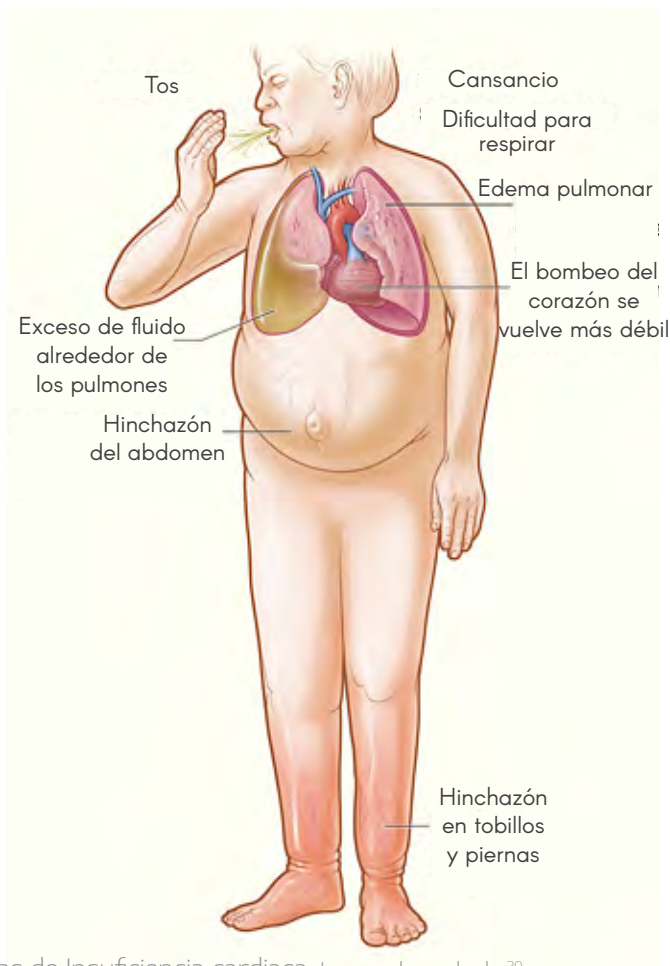
Las enfermedades cardiovasculares son aquellas que afectan al corazón y a los vasos sanguíneos. Se pueden clasificar en: cardiopatías (coronaria, reumática, congénita), enfermedades cerebrovasculares, arteriopatías periféricas, trombosis venosas profundas y embolias pulmonares.

Sus causas principales son una dieta inadecuada, inactividad física, consumo de tabaco y consumo de alcohol. Usualmente no se presentan síntomas hasta que ocurre un ataque al corazón o un accidente vascular cerebral (AVC).

Los síntomas de un ataque al corazón son dolor o molestia en el pecho, los brazos, hombro izquierdo, mandíbula y/o espalda. Además suele haber dificultad para respirar, náuseas o vómitos, mareos o desmayos, sudor frío y palidez¹⁸.



INSUFICIENCIA CARDIACA



Condición en la cual el corazón no puede bombear sangre suficiente para cubrir las necesidades del cuerpo. Se desarrolla a medida que el latir del corazón se debilita, puede afectar a uno o ambos lados del mismo. Si la falla ocurre del lado derecho, el corazón no puede bombear sangre suficiente a los pulmones para oxigenarla correctamente; si la falla ocurre del lado izquierdo, el corazón no puede bombear suficiente sangre oxigenada al resto del cuerpo.

La insuficiencia cardíaca es causada por enfermedades que dañan al corazón como las enfermedades coronarias, presión alta y diabetes.

Algunos síntomas que se pueden presentar son: problemas al respirar, cansancio, hinchazón en los tobillos, pies, rodillas, abdomen y venas del cuello.

Esta enfermedad empeora con el paso del tiempo sin embargo, siguiendo el tratamiento médico, se puede tener una buena calidad de vida. El tratamiento puede aliviar los síntomas y hacer las actividades diarias más sencillas, también reduce las posibilidades de ir al hospital por una emergencia²⁰.

1.3.3 ANEMIA

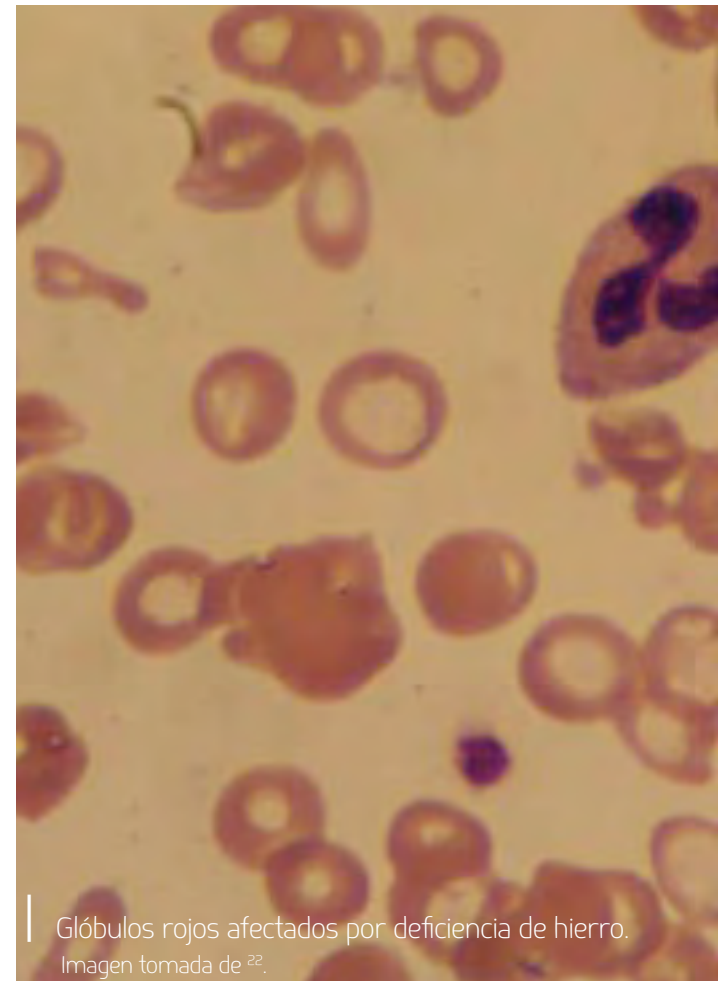
Enfermedad en la cual se ve reducida la capacidad de transporte del oxígeno en la sangre. Se caracteriza por un número reducido de glóbulos rojos o una cantidad considerable de hemoglobina desoxigenada.

Algunos síntomas son el cansancio, intolerancia al frío, palidez en la piel. Entre las causas de la anemia se encuentra la absorción inadecuada del hierro, pérdida de sangre por hemorragia, ingesta inadecuada o incapacidad de absorción de vitamina B12 y/o ácido fólico, entre otros.

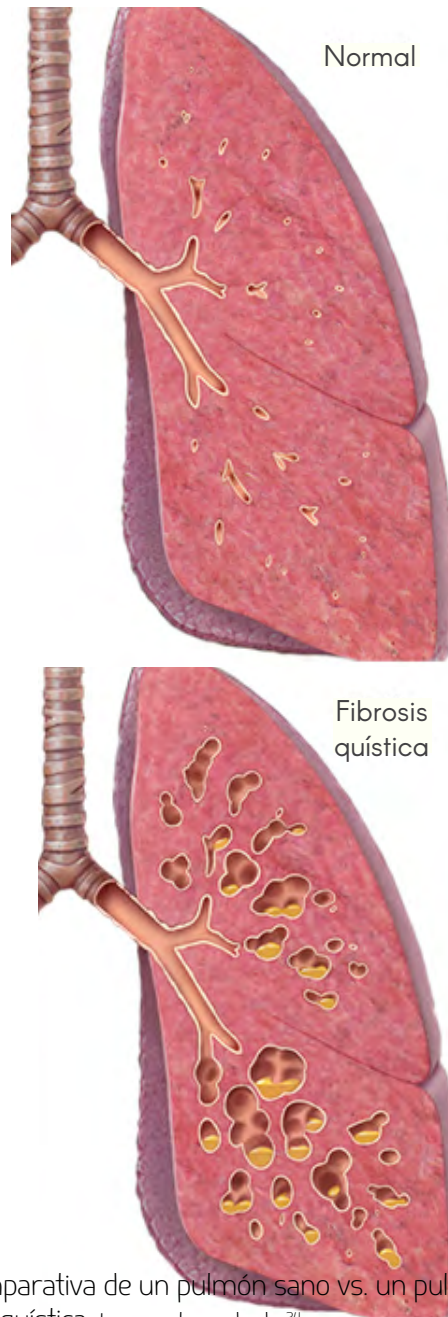
POSIBLES COMPLICACIONES

En casos de anemia severa, la falta de oxígeno puede afectar órganos vitales como el corazón y puede llevar a un ataque cardiaco.

Los tratamientos varían según el tipo de anemia de cada paciente, algunos de los más frecuentes son transfusiones sanguíneas, ingesta de medicamentos para inhibir el sistema inmune, eritropoyetina, suplementos de hierro, ácido fólico y vitamina B12²¹.



Glóbulos rojos afectados por deficiencia de hierro.
Imagen tomada de ²².



1.3.4 FIBROSIS QUÍSTICA

Otro padecimiento que afecta la oxigenación es la Fibrosis Quística, enfermedad hereditaria de las glándulas secretoras, algunas de estas producen la mucosidad y el sudor. Afecta pulmones, páncreas, hígado, intestinos, senos nasales y órganos sexuales.

Causa que el moco sea espeso y pegajoso. Se acumula en los pulmones y bloquea las vías respiratorias. Esta acumulación de moco facilita el crecimiento de las bacterias, esto conlleva el desarrollo de infecciones en los pulmones, con el tiempo esto puede dañarlos severamente. También puede bloquear los conductos del páncreas, lo que puede derivar en déficit de vitaminas, desnutrición y otros problemas gástricos. El sudor se vuelve muy salado, señal de pérdida de sales y minerales, lo que puede causar deshidratación, debilidad y golpes de calor.

Para los problemas respiratorios causados por la Fibrosis Quística, se recomienda realizar fisioterapia torácica, ejercicios, medicación adecuada y rehabilitación pulmonar. Para enfermedades avanzadas de pulmón se recomienda terapia con oxígeno o trasplante de pulmón en caso de que no funcione el tratamiento²³.

Imagen comparativa de un pulmón sano vs. un pulmón afectado por fibrosis quística. Imagen tomada de ²⁴.

1.4 TERAPIA CON OXÍGENO

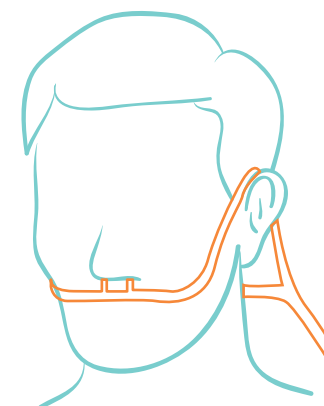
La terapia con oxígeno, u oxigenoterapia, es parte usual de los tratamientos para personas con enfermedades que causan la disminución del oxígeno en la sangre. La falta de oxígeno puede producir serios daños fisiológicos, los cuales pueden ser prevenidos o revertidos gracias a la terapia con O_2 . Este tratamiento provee al cuerpo de oxígeno extra y ha demostrado tener más beneficios para el paciente, tales como recuperación de lesiones pulmonares, cambios en la ventilación pulmonar y aumento de la esperanza de vida.

Existe terapia con oxígeno a corto y largo plazo. La terapia a corto plazo está indicada para Neumonía severa, Asma severa y Síndrome de Dificultad Respiratoria. La terapia a largo plazo está indicada, entre otras enfermedades, para EPOC, etapas avanzadas de Insuficiencia Cardíaca, Fibrosis Quística y desordenes como la apnea del sueño.

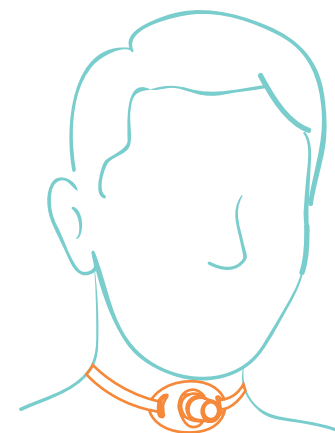
Debe ser prescrita por el médico, quien indicará el flujo (litros por minuto) que requerirá el paciente y la frecuencia con la que debe usarse, esto dependerá del estado y gravedad de cada paciente²⁵.



Mascarilla



Cánula nasal



Transtraqueal

Elementos para administración de oxígeno.
Imagen tomada de ^{26,27}.

CONCLUSIONES

Los aparatos respiratorio y cardiovascular son los encargados de transportar el oxígeno del exterior hasta cada célula del cuerpo humano, cualquier enfermedad que los afecte puede tener graves consecuencias si no se atienden. Conocer estas enfermedades y supervisarlas es necesario para evitar complicaciones que puedan causar la muerte de los pacientes. La oxigenoterapia suele ser comúnmente recetada según el avance de la enfermedad, esto es importante pues debe ser considerado para diseñar un oxímetro que no impida este tratamiento.

2. Oximetría



La oximetría hace referencia a las diversas técnicas existentes que permiten conocer la cantidad de oxígeno en la sangre de un paciente²⁸.

| Toma de sangre para gasometría arterial. Imagen tomada de ²⁹.

2.1 MEDICIÓN DE LA SpO_2

Las dos técnicas usadas para medir el oxígeno en la sangre son la gasometría arterial y la oximetría de pulso. La primera permite conocer principalmente la saturación arterial de oxígeno (SaO_2) y de dióxido de carbono en la sangre, además permite conocer su pH y el nivel de bicarbonato presente. Para conocer esta información se analiza una muestra de sangre arterial, la cual es tomada de la arteria radial de la muñeca; su aplicación más frecuente es para analizar la función pulmonar y dar seguimiento a personas que reciben oxigenoterapia²⁸.

La oximetría de pulso es una forma no invasiva de conocer la saturación de oxígeno en la sangre, se realiza mediante la colocación de un oxímetro de pulso en el dedo o lóbulo de la oreja del paciente.

Esta técnica mide la concentración de oxígeno en los capilares periféricos (SpO_2), el cual es un porcentaje aproximado a la saturación arterial (SaO_2), suele presentar una variación máxima de 2% respecto a la SaO_2 . Los valores normales de SpO_2 para cualquier paciente sano radican entre el 95 y el 100%³⁰. Además de la SpO_2 , los oxímetros de pulso miden el ritmo cardiaco.



Oxímetro de pulso portátil, se muestra información del paciente
Imagen tomada de ³¹.

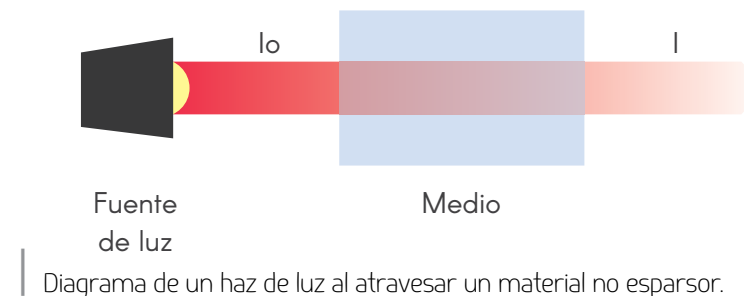
2.2 PRINCIPIOS

El objetivo de este proyecto es desarrollar un oxímetro de pulso, por lo que a continuación se presentarán los principios físicos que permiten el funcionamiento de dichos dispositivos. También se analizarán los distintos tipos de oxímetros de pulso existentes, sus aplicaciones y características relevantes de los mismos.

Previamente se mencionó el cambio de color que sufre la hemoglobina al estar completamente oxigenada respecto a la desoxigenada, esta característica es básica para la oximetría de pulso. Ambos tipos de hemoglobina (HbO_2 y HbR) presentan comportamientos distintos al hacer incidir haces de luz con diferentes longitudes de onda, este principio es explicado por la ley de Beer-Lambert.

2.2.1 LEY DE BEER-LAMBERT

Esta ley habla sobre el comportamiento de la luz monocromática al atravesar un medio uniforme no espesor, el cual es capaz de absorber parte de la luz incidente. Se basa en el principio físico en el cual la intensidad de la luz incidente (I_0) es la suma de la intensidad de la luz absorbida y la intensidad de la luz transmitida (I).



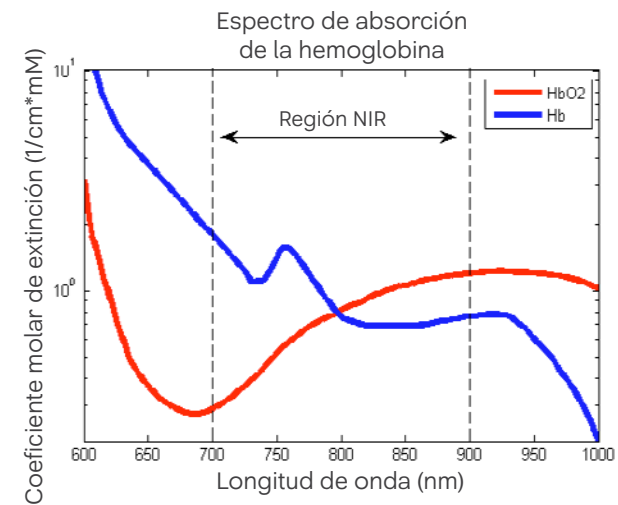
Para poder utilizar esta ley es necesario conocer ciertas características del material a través del cual pasarán los haces de luz, tales como su espesor, su concentración, y su coeficiente de extinción (absorción), este último depende de la longitud de onda incidente⁶.

2.2.1 LEY DE BEER-LAMBERT

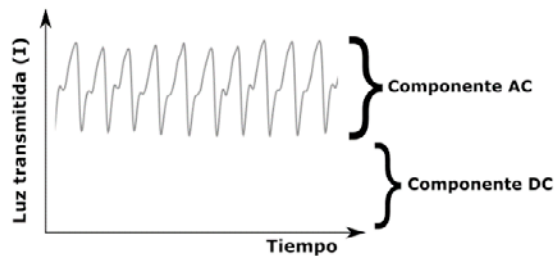
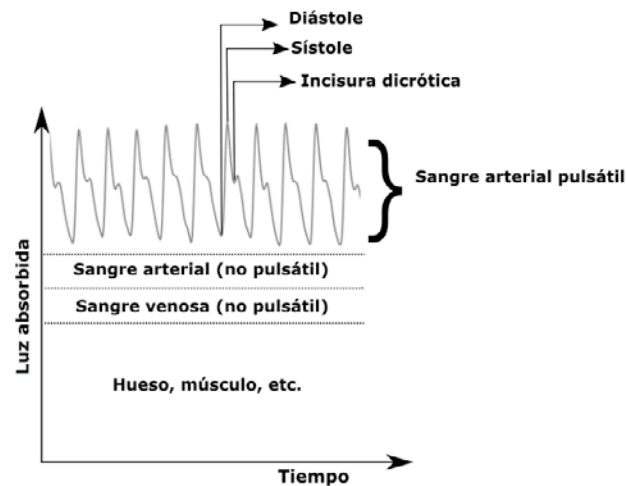
En la aplicación a la oximetría de pulso se poseen parámetros de espesor y se posee el coeficiente de extinción, con lo cual es posible calcular la concentración de alguno de los datos faltantes, en este caso la hemoglobina oxigenada.

Los oxímetros de pulso poseen dos emisores de luz (LEDs), uno con luz roja y otro con luz infrarroja con longitudes de onda en 660nm y 940nm respectivamente. Estas longitudes de onda son las elegidas pues son aquellas en las cuales se hacen más evidentes las características empleadas para obtener la SpO_2 .

Por su comportamiento, ante longitudes de onda menores, la desoxihemoglobina presenta una mayor absorción que la oxihemoglobina y para longitudes de onda mayores, la relación se invierte⁶, esto quiere decir que una muestra de sangre absorberá más luz roja o infrarroja dependiendo de la cantidad de HbR o HbO₂ que contenga.



Espectro de absorción de la oxihemoglobina(rojo) y desoxihemoglobina(azul). Imagen tomada de ⁶.



Para poder diferenciar la incidencia de luz en los tejidos (hueso, piel, sangre venosa, etc.) respecto a la luz incidida en la sangre arterial, se hace uso del bombeo sanguíneo, el cual es generado por el corazón al latir para lograr la distribución de la sangre en todo el organismo.

Este bombeo, o cualidad pulsátil de la sangre arterial, crea una doble señal en la lectura del fotodetector, la primera es constante y representa a los componentes estáticos incididos por el haz de luz, la segunda presenta una variación generada por los pulsos propios de la sangre arterial, esta señal recibe el nombre de fotopleletismograma y es la que permite conocer el ritmo cardiaco del paciente.

En las imágenes mostradas del lado izquierdo de la página, se observan las variaciones generadas en el haz de luz al ser incidido en alguna parte del cuerpo. La de arriba muestra las variaciones que genera cada componente incidido, mientras que la de abajo indica los componentes que generan una corriente alterna y los que generan una corriente directa para la interpretación en el microprocesador. El correcto procesamiento de esta información es la que permite la obtención del SpO_2 y el ritmo cardiaco⁶.

Absorción de luz por los componentes pulsátiles y no pulsátiles (arriba); Luz transmitida a través de los mismos componentes, esta señal es la recibida por el fotodetector(abajo). Imagen tomada de ⁶.

2.3 CONFIGURACIONES

Existen dos configuraciones básicas en la oximetría de pulso, por reflexión y por transmisión. Por reflexión, los LEDs y el fotodetector se encuentran colocados en el mismo lado, mientras que por transmisión, los LEDs se encuentran colocados frente al fotodetector.

Ambas configuraciones poseen ventajas y desventajas, la disposición por reflexión genera una señal más débil, la disposición por transmisión disminuye la cantidad de zonas del cuerpo donde puede colocarse⁶.

La disposición más usada es por transmisión por tener una mayor certeza en la lectura de la saturación de oxígeno en la sangre. Para este proyecto se empleará esta configuración.



Configuración por transmisión



Configuración por reflexión

Tipos de configuración de un oxímetro.
Imagen basada en ⁶.

2.4 OXÍMETROS DE PULSO

En esta sección se hablará de los tipos de oxímetros de pulso existentes, de las características que los componen y los diferencian entre sí.

Según su uso, los oxímetros de pulso pueden clasificarse en portátiles y hospitalarios. Para poder realizar la lectura de los datos son necesarios los siguientes componentes:

El sensor, el cual está compuesto por emisores de luz (LEDs) y un fotodetector, estos son los encargados de obtener la información de la concentración de oxígeno en la sangre; y el microprocesador, el cual interpreta la información recopilada y la transforma en datos comprensibles para los usuarios. Poseen también una pantalla donde se muestra el SpO_2 y la frecuencia cardiaca.

Los oxímetros de pulso son frecuentemente usados en quirófanos, salas de emergencia, unidades de cuidados intensivos y consultorios, además algunos pacientes suelen llevarlos consigo para monitorear su estado de salud. Los oxímetros permiten detectar signos de hipoxia que no son fáciles de detectar a simple vista, esto permite tomar acciones inmediatas para evitar daños en órganos vitales³².

Los oxímetros para uso hospitalario están compuestos por un sensor que se conecta a un monitor vía alámbrica. El sensor suele colocarse en los dedos de las manos o el lóbulo de las orejas; los hay con bisagra o de goma, los primeros suelen ser los más populares pero se dañan fácilmente, los segundos permiten un uso más rudo sin embargo pueden constreñir el flujo sanguíneo si se ajusta demasiado. Los sensores colocados en la oreja suelen ser más livianos, lo que los vuelve útiles para su uso con niños y para pacientes con una vasoconstricción severa³².

Este tipo de oxímetros permite una obtención de datos por periodos prolongados, además del SpO_2 y la frecuencia cardiaca suelen tener parámetros opcionales como la temperatura; cuentan con alarmas ante disminución del O_2 .

Los oxímetros de pulso portátiles son más pequeños y livianos que los de uso hospitalario, usualmente pesan alrededor de los 60g, lo que permite transportarlos fácilmente. Este tipo de oxímetro se coloca en los dedos mediante un sistema de bisagra. El dispositivo se coloca en el dedo y cuenta, en la parte superior, con una pantalla donde se muestra el SpO_2 . Este tipo de oxímetros solo permiten la lectura momentánea de la saturación de oxígeno y usualmente no cuentan con alarmas en caso niveles bajos de SpO_2 .

Este trabajo está enfocado en el desarrollo de un oxímetro portátil, sin embargo resulta útil conocer las características de los oxímetros hospitalarios ya que estos permiten el uso prolongado, y uno de los principales requisitos es que los usuarios puedan portarlo a lo largo del día.



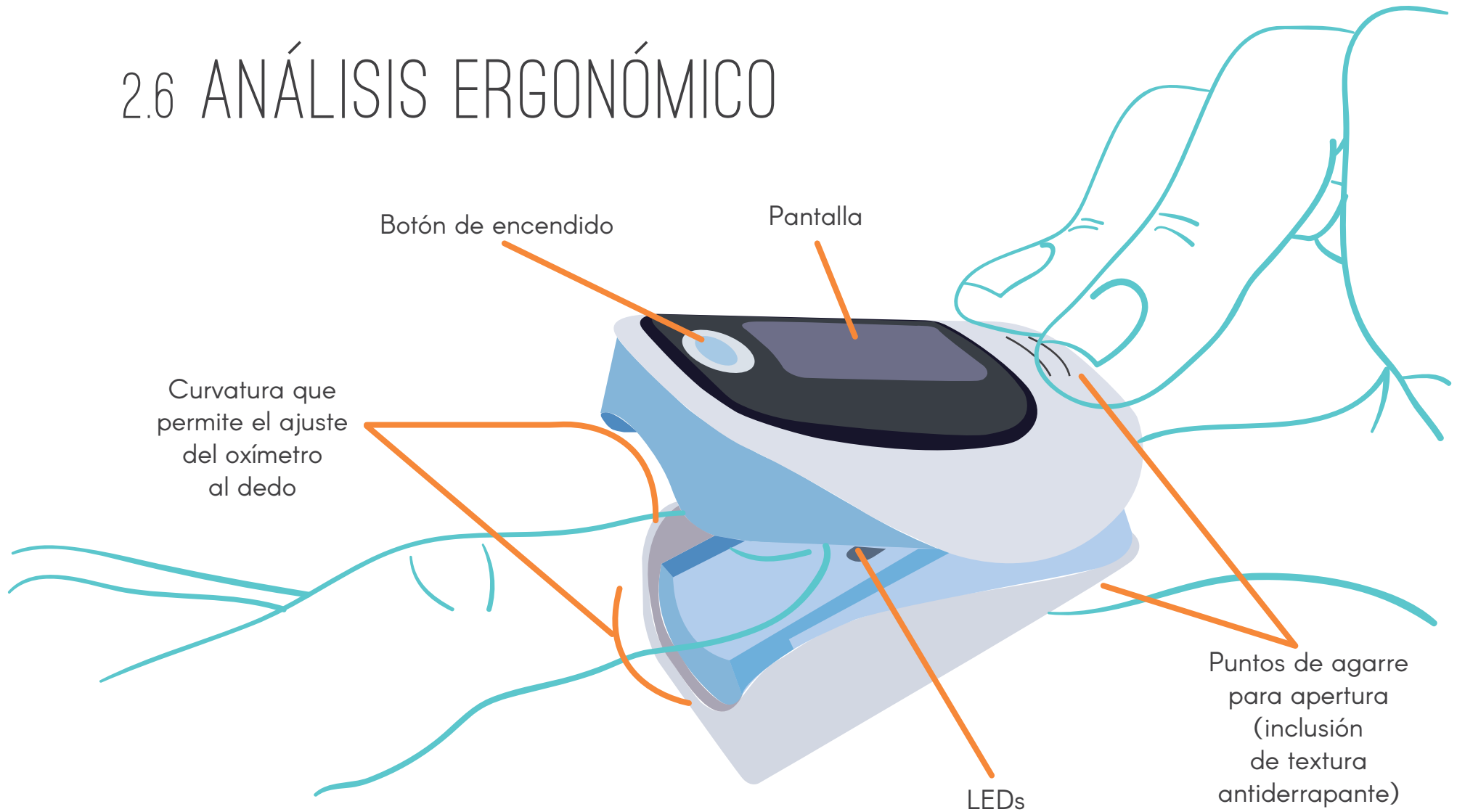
A la izquierda: monitor de un oxímetro hospitalario³³; al centro: sensor que se conecta al monitor³⁴; a la derecha: oxímetro portátil³⁵.

2.5 SECUENCIA DE USO

Aquí se muestran los pasos a seguir para medir la SpO_2 usando un oxímetro de pulso portátil.



2.6 ANÁLISIS ERGONÓMICO



Como parte del análisis de análogos y homólogos se evaluaron diez oxímetros de pulso, se seleccionaron características específicas para hacer una comparativa entre ellos, estas características fueron: zona de colocación, peso, costo, tipo de revisión (si es momentánea o continua), tipo de batería que usa y si cuenta con alguna característica especial extra.

2.7 REFERENTES EN EL MERCADO

Los oxímetros analizados fueron:



Modelo 1^{38,39}: Pro100
Marca: Sonoleäd



Modelo 2^{40,41}: CMS50L
Marca: Contec



Modelo 3^{42,43}: Onyx II
Marca: Nonin



Modelo 4⁴⁴: Life pulse
Marca: Sonolife



Modelo 5^{45,46}: Go₂
Marca: Nonin



Modelo 6⁴⁷: PO₃
Marca: iHealth



Modelo 7⁴⁸: CMS50DL
Marca: Contec



Modelo 8^{49,50}: 8000Q2
Marca: Nonin



Modelo 9^{51,52}
Marca: FreeWavz



Modelo 10^{53,54}: Pro100
Marca: LNCS EI

2.7.1 ANÁLISIS

ZONA DE COLOCACIÓN

El primer parámetro a evaluar fue la zona de colocación de los oxímetros seleccionados. De los diez modelos elegidos, siete se colocan en los dedos(modelo 1 al 7), mientras que los otros tres se colocan en la oreja(modelo 8 al 10).

PESO

Para el análisis por peso, se dividió a los oxímetros en dos grupos, aquellos que se colocan en la oreja y aquellos que se colocan en los dedos. Los oxímetros que se colocan en la oreja pesan aproximadamente 28g, con una variación de 5g entre ellos. Los oxímetros que se colocan en los dedos tienen un peso mayor, el más liviano de estos es el Pro100 (modelo 1), con un peso de 28g aunque no especifica si este peso considera las baterías; por el contrario, el oxímetro más pesado resulta ser el Onyx II (modelo 3), con un peso de 63g ya con la batería.

COSTO

El costo de los oxímetros puede variar según el lugar donde se adquieran, para funciones de este documento se analizó compra por internet. El oxímetro de menor costo es el Onyx II, con un precio aproximado de \$350 MXN; el más costoso de los oxímetros consultados es el FreeWavz en \$219 USD.

TIPO DE REVISIÓN (CONTÍNUO O MOMENTÁNEO)

Todos los oxímetros analizados que se colocan en el dedo (modelo 1 al 7) sólo permiten revisión momentánea, mientras los que se colocan en la oreja (modelo 8 al 10) permiten revisión en el momento y continua.

BATERÍA

Sólo dos de los oxímetros cuentan con batería recargable mediante USB, estos modelos son el PO₃ y el FreeWavz. De los modelos restantes dos son sólo el sensor por lo que estos funcionan al estar conectados al monitor. Los seis oxímetros restantes emplean baterías AAA.

CARACTERÍSTICAS ESPECIALES

Tres de los oxímetros analizados cuentan con conexión Wi-fi: Onyx II, PO₃ (únicamente es compatible con iOS) y FreeWavz, este último no es dispositivo para supervisión médico pero se analizó por sus características tecnológicas.

De todos los dispositivos analizados, el único que cuenta con alarma en el mismo dispositivo es el CMS50DL (modelo 7), los sensores en la oreja poseen alarma pues están conectados a un monitor y como se vio previamente, esta es una característica de los oxímetros hospitalarios.

CONCLUSIONES

En los productos estudiados en las páginas previas se observó que entre los oxímetros de pulso para dedo, las variaciones son mínimas.

Algunos muestran características relevantes sobre los demás, entre las que se encuentran:

- Alarma programable al llegar a un nivel de SpO₂
- Conexión Wi-fi y compatibilidad con una app
- Encendido y/o apagado automático al introducir o retirar el dedo
- Batería recargable mediante cable usb
- Luz negra que se activa ante exceso de luz en el ambiente
- Materiales que permitan su uso a personas alérgicas al látex
- Resistencia al sudor y la humedad
- Uso de la concha de la oreja para la medición de la SpO₂

2.8 LESIONES CAUSADAS POR OXÍMETROS

En el ámbito hospitalario, especialmente en unidades de cuidados intensivos, el oxímetro es un elemento recurrente, suele estar colocado en el paciente por más de un día. Dependiendo del organismo de cada paciente, se pueden presentar diversas lesiones por el uso prolongado. A continuación se muestran los resultados de un análisis realizado a los pacientes del Hospital de Enfermedades Generales en Guatemala⁵⁵. Se utilizó esta información como un elemento preventivo para evitar factores que causen heridas en los usuarios.

Se estudiaron las lesiones de 47 pacientes de la Unidad de Cuidados Críticos (Unidad de Terapia Intensiva y Cuidados Intermedios). Entre las lesiones detectadas se encontraron hematomas, ulceraciones, candidosis y dermatitis, causados por diversos factores como complicaciones sistémicas, terapia antibiótica, estancias prolongadas, movilización inadecuada y uso de instrumentos no invasivos para monitoreo.

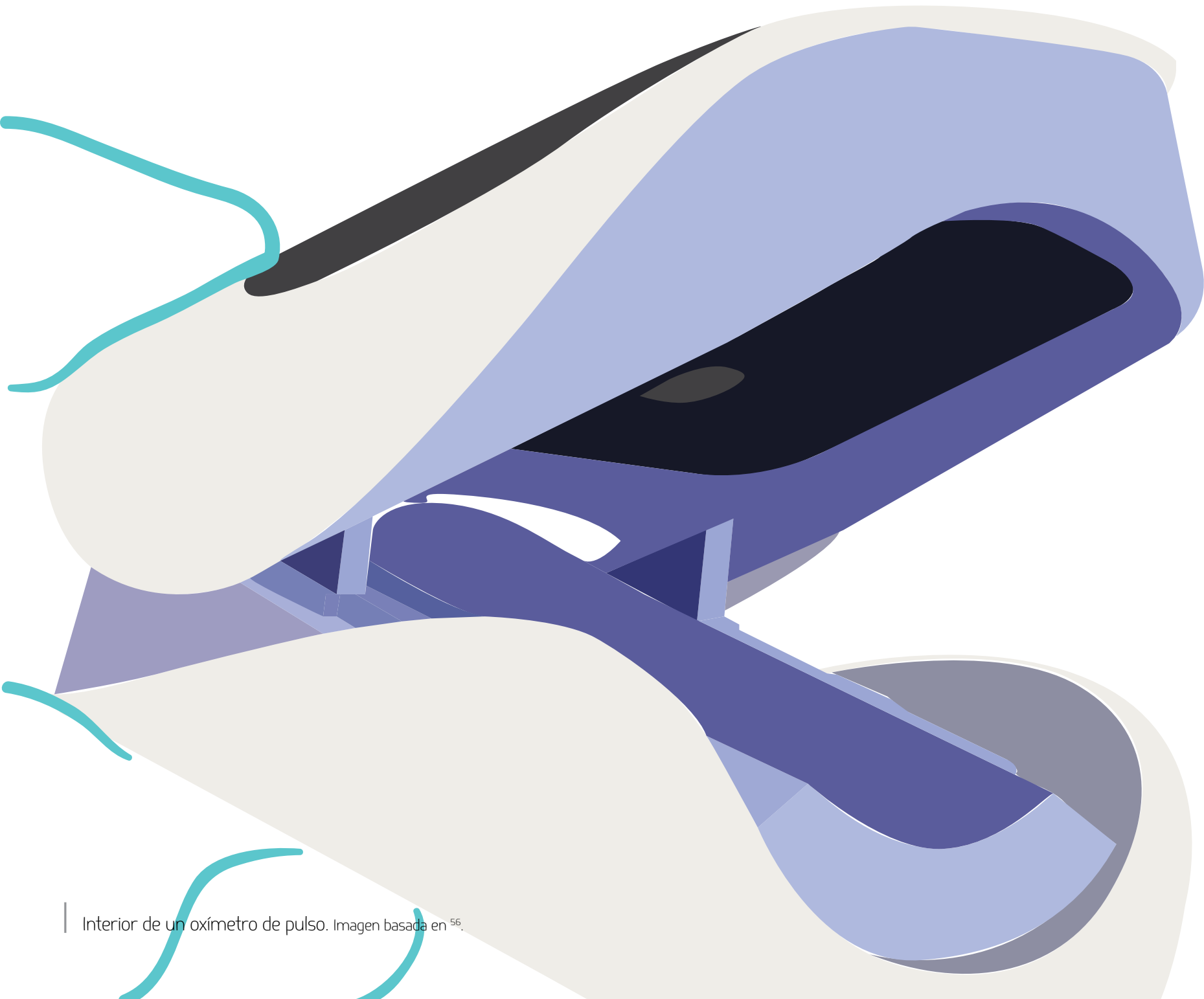


Hematomas generados por el uso del oxímetro.
Imagen tomada de ⁵⁵.



De los 47 pacientes analizados, 17 de ellos presentaban lesiones relacionadas con la presión ejercida por el oxímetro de pulso durante periodos muy prolongados, dichas lesiones se presentaron en forma de hematomas, ampollas y/o necrosis.

Las lesiones suelen presentarse posterior a los 10 o 20 días de hospitalización. Esta información resulta importante pues brinda pautas para disminuir la posibilidad de lesiones en los usuarios del oxímetro.



| Interior de un oxímetro de pulso. Imagen basada en ⁵⁶.

CONCLUSIONES

La información más relevante obtenida de esta fase de la investigación es:

1. El uso de los oxímetros de pulso permite detectar oportunamente signos de hipoxia, permitiendo la rápida acción para prevenir daño en diversos órganos vitales.
2. Los oxímetros de pulso de uso hospitalario permiten llevar un seguimiento prolongado de los signos vitales del paciente.
3. Los sensores ubicados en la oreja representan una ventaja respecto a los pacientes con vasoconstricción severa.
4. De ambas configuraciones presentadas en los oxímetros de pulso, la más útil resulta ser por transmisión pues presenta una señal más fuerte que aquella presentada por los oxímetros en reflexión.
5. La presión ejercida por los oxímetros en hospitales puede llegar a causar lesiones en los pacientes al usarlos por periodos prolongados.

3. Wearables (Tecnología Portable)



Los wearables o tecnología portable son dispositivos tecnológicos, como joyería, ropa o sensores, que se colocan cerca o dentro del cuerpo humano⁵⁷. Su propósito puede ser recreativo, aumentar la productividad o mejorar la calidad de vida de los usuarios.

Este tipo de dispositivos es una tendencia actual en el desarrollo de objetos tecnológicos, se colocan en diversas partes del cuerpo como muñecas o cabeza. Permiten, mediante la interacción con los teléfonos inteligentes, brindar información útil a los usuarios como noticias, crear una base de datos de interés con su rutina de entrenamiento, reproducir música, etcétera.

En este capítulo se hablará sobre características generales y específicas de los wearables que existen actualmente pues representan un campo hacia el cual se busca enfocar este proyecto.



3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES


Existen tres elementos básicos con los que debe cumplir cualquier wearable, entre estos se encuentran:

SENSORES: dispositivos microelectrónicos diseñados para monitorear un factor en específico, pueden ser físicos, eléctricos o químicos.

PROCESADORES: elementos que permiten el análisis de la información recopilada empleando muy poca energía.

COMUNICACIÓN: tecnología inalámbrica que permita transmitir la información al dispositivo con el cual está vinculado el wearable.

Entre las principales características buscadas en el desarrollo de los wearables se encuentran: permitir a los usuarios realizar sus actividades cotidianas, obtener beneficios inmediatos como conocer datos sobre su salud o su rutina diaria, duración adecuada de la batería y que no resulte molesto⁶⁰.



Algunos de los wearables más populares son los relojes, como los presentados por Samsung o Apple, o lentes, como los presentados por Google, entre un gran número de dispositivos que surgen cada día.

Los principales sectores hacia los cuales se dirige el desarrollo de wearables son deportes, salud y el esparcimiento. Suelen presentarse principalmente como cámaras, bandas para muñeca y ropa inteligente. Se espera que esta industria tenga un gran desarrollo en los próximos años pues cada vez presentan mayor aceptación⁶¹.

En el ámbito de salud existen diversos dispositivos, algunos permiten medir la glucosa en la sangre como GlucoTel™, otros ayudan a mejorar la postura como TruPosture, Alex o Postuspine Wear; también existen wearables que permiten monitorear la salud de personas con asma y prevenir crisis.

3.2 TECNOLOGÍA

Factores importantes para el buen funcionamiento de un dispositivo portable son: ser livianos, buena sincronización de datos con el dispositivo con el cual se encuentran conectados y que la batería tenga un rendimiento adecuado según su propósito.

Por esta razón, las empresas han buscado mejorar diversos componentes para hacer dispositivos cada vez más eficientes, este es el caso del Bluetooth LE y las baterías especiales de larga duración.



3.2.1 BLUETOOTH LOW ENERGY (BLUETOOTH DE BAJA ENERGÍA)

La mayoría de los wearables cuentan con Bluetooth LE para la transmisión de información. Este tipo de tecnología fue desarrollada específicamente para el Internet de las Cosas (IoT por sus siglas en inglés), pues busca una transmisión eficiente de información, similar a la del Bluetooth estándar pero con un bajo consumo de energía⁶³.

3.2.2 ENERGÍA

El gasto de energía está directamente relacionado con la cantidad de tareas que debe ejecutar un dispositivo: a mayor número de tareas, mayor será el gasto energético y por consiguiente, menor la duración de la batería. Por ello es importante considerar esto para la correcta elección de batería según el wearable.

Los principales tipos de baterías usados en la industria de la tecnología portable son las baterías Ion-Litio (Li-Ion por sus siglas en inglés) y de polímero de litio (LiPo por sus siglas en inglés).

BATERÍAS LI-ION VS. LIPO

Ambos tipos de batería son muy usadas en el mercado debido a su bajo costo y a su vida útil, la cual es relativamente larga (aproximadamente 1000 ciclos de carga completos), además son pequeñas y livianas.



Batería de Ion de Litio.
Imagen tomada de ⁶⁴.



El funcionamiento de ambas es básicamente el mismo, la diferencia principal radica en la forma en la cual se encuentran las sales de litio al interior de la batería. En las Li-Ion la sal de litio se encuentra disuelta en un solvente orgánico, mientras que en las LiPo, la sal está contenida en un gel (un polímero), esto vuelve a las baterías LiPo menos propensas a sufrir derrames.

Otra ventaja de las baterías LiPo sobre las Li-Ion es que son más flexibles, lo que permite colocarlas en dispositivos curvos, además son más ligeras y baratas que las Li-Ion. Algunas de las desventajas de las baterías LiPo son que no deben exponerse a temperaturas muy altas y su funcionamiento se ve afectado a menos de 25°C⁶⁵.

Para este proyecto se sugiere el uso de una batería LiPo que cubra las necesidades energéticas del oxímetro, esto debido a su flexibilidad y menor riesgo de derrame.

3.3 CERTIFICACIONES^{60,67}

Al igual que el resto de los productos comercializados en el mundo, es necesario que aprueben ciertas regulaciones establecidas por mercados nacionales e internacionales. Existen empresas especializadas que se encargan de realizar dichas evaluaciones, entre las que realizan este tipo de certificación a los dispositivos portables son TÜV-SÜD y UL.

En dichas certificaciones se evalúa el desempeño de los wearables en distintos ámbitos, tanto referentes a la tecnología como a la seguridad para el usuario. A continuación se describen las distintas pruebas a las que son sometidos estos dispositivos.

SEGURIDAD DEL PRODUCTO

Implica realizar pruebas sobre shock eléctrico y peligros mecánicos.

TASA DE ABSORCIÓN ESPECÍFICA

Se analiza la radiación electromagnética emitida por el dispositivo en las condiciones más extremas.

INTEROPERABILIDAD INALÁMBRICA

Evalúa la eficacia al compartir información de modo inalámbrico.

COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA (EMC)

Sin importar su fuente de alimentación, los dispositivos no deben generar interferencia electromagnética que pueda afectar a otros dispositivos.

PRIVACIDAD DE DATOS

Evalúa la debilidad potencial en la seguridad al momento de transmitir datos del wearable al dispositivo con el cual se encuentra sincronizado.

EFICIENCIA ENERGÉTICA

Se verifica el gasto energético y la duración de la batería de cada dispositivo.

CONTENIDO QUÍMICO Y BIOCOMPATIBILIDAD

Identifica los daños potenciales que pueden causar los químicos contenidos en el objeto.

CONSIDERACIONES AMBIENTALES Y SUSTENTABLES



3.4 PRODUCTOS EN EL MERCADO

Existe una gran diversidad en los wearables que hay actualmente en el mercado. Esta sección está enfocada a los dispositivos especializados en el cuidado de la salud.

Resulta importante tener un comparativo con otros dispositivos portátiles que se encuentren actualmente en el mercado o que estén en desarrollo pues permite ampliar el panorama respecto a pautas que se están siguiendo actualmente.

Dentro de el gran campo de wearables enfocados a la salud se han elegido cinco para presentarlos a continuación como análogos, los dispositivos elegidos son: iTBra, Valedo, Quell, HealthPatch MD y Adamm.



Wearable para monitorear signos vitales a lo largo del día
Imagen tomada de ⁶⁹.

3.4.1 iTBRA⁷⁰

Prenda inteligente desarrollada por Cycardia la cual permite realizar un análisis mensual al tejido mamario para detectar inicios de cáncer. La prenda debe colocarse entre 2 y 24 horas para realizar esta revisión.

Pese a que aún no se encuentra a la venta, es un proyecto interesante pues permite realizar este tipo de análisis desde la casa, sin necesidad de radiación, no ejerce presión ni genera dolor en la paciente.



iTBra, permite detectar cancer de mama sin realizar dolorosos exámenes. Imagen tomada de ⁷¹.

3.4.2 VALEDO^{72.73}

Este wearable de la empresa Hocoma tiene como objetivo aliviar el dolor de la espalda baja, esto se logra con dos sensores que se colocan uno en la espalda baja y otro sobre el pecho a la altura del manubrio.

Mediante la interacción de rutinas y videojuegos, este dispositivo hace que los usuarios se ejerciten mientras se divierten. Se recomiendan rutinas diarias de 20 minutos cada una.

Posee una app, compatible con iOS y Android, con la cual se sincronizan los dispositivos, almacena el desempeño de los usuarios, y envía la información recolectada a terapeutas, los cuales pueden asesorar a los usuarios.

El kit que adquieren los usuarios está compuesto por dos sensores, cien cintas autoadhesivas, un cargador y un estuche para almacenarlos.

Cada cinta permite sólo un uso, al terminarse las incluidas en el kit es posible adquirir más; también existe un cinturón de la misma marca que permite colocar los sensores sin necesidad de usar las cintas adhesivas^{72.73}.

ESPECIFICACIONES

Dimensiones: 42mm x 32mm x 16mm

Peso: 18g

Tiempo de vida: 3 años

Bluetooth 4.0 o LE

Batería LiPo

Temperatura de uso: 15o a 35oC

Tiempo de carga: aproximadamente 90 minutos

Posee certificaciones de la FDA y de la Unión Europea



Izquierda: sensores Valedo; Derecha: modelo usando sensores mientras se ejercita. Imagen tomada de ^{74,75}.

3.4.3 QUELL⁷⁶

Dispositivo desarrollado por la empresa NeuroMetrix, Inc. Emplea estímulos eléctricos para disminuir dolores crónicos como el dolor de espalda, dolor de pies y piernas, dolor causado por artritis, entre otros.

Los estímulos se envían en terapias de 60 minutos con recesos de 60 minutos entre una y otra, el dolor comienza a disminuir después de los primeros 15 minutos de la sesión. Permite usarlo también mientras se está dormido para brindar una mejor calidad de vida al paciente pues le permite dormir sin dolor.

Está compuesto por un sensor, el cual se coloca dentro de una banda, esta se posiciona dos pulgadas bajo la rodilla; en caso de no poder usarla en esta posición, la banda se sitúa a la mitad de la pantorrilla o a la mitad del muslo.

Cuenta con una app que permite programar las terapias, modificar la intensidad de las mismas, detenerlas o reanudarlas, además recopila información sobre los movimientos y posturas al dormir.

ESPECIFICACIONES

Dimensiones: 98 mm x 74 mm x 11 mm

Peso: 62 g sin la banda

Bluetooth 4.0 o LE

Batería Li-Ion recargable

Temperatura de uso: 10o a 40oC

Tiempo de carga: 3 horas para carga completa

Posee certificaciones de la FDA y de la Comisión Electrónica Internacional (IEC por sus siglas en inglés).



Uso de Quell (fondo); Soporte de Quell desplegado(frente derecha). Imagen tomada de ^{77,78}.

3.4.4 HEALTHPATCH MD⁷⁹

Biosensor desarrollado por Vital Connect, permite supervisar los signos vitales del paciente.

Está elaborado con electrodos usados para realizar electrocardiogramas. Está constituido por dos elementos: el módulo del sensor, el cual es reutilizable, y el parche, el cual es desechable.

Para colocarse emplea adhesivos, estos dependen del grado de actividad de cada paciente. Los pacientes con baja actividad física emplean los adhesivos de silicón, permiten dos usos; para personas con un nivel mayor de actividad y que además presentan sudoración moderada, se emplean adhesivos elaborados de hidrocólode, estos sólo permiten un uso.

Mide el ritmo cardiaco, la respiración, temperatura, cuenta los pasos dados, monitorea la posición corporal e inclusive es capaz de detectar si el paciente sufre una caída.

ESPECIFICACIONES

Dimensiones: 11.5mm x 40mm x 7mm

Peso: 11g

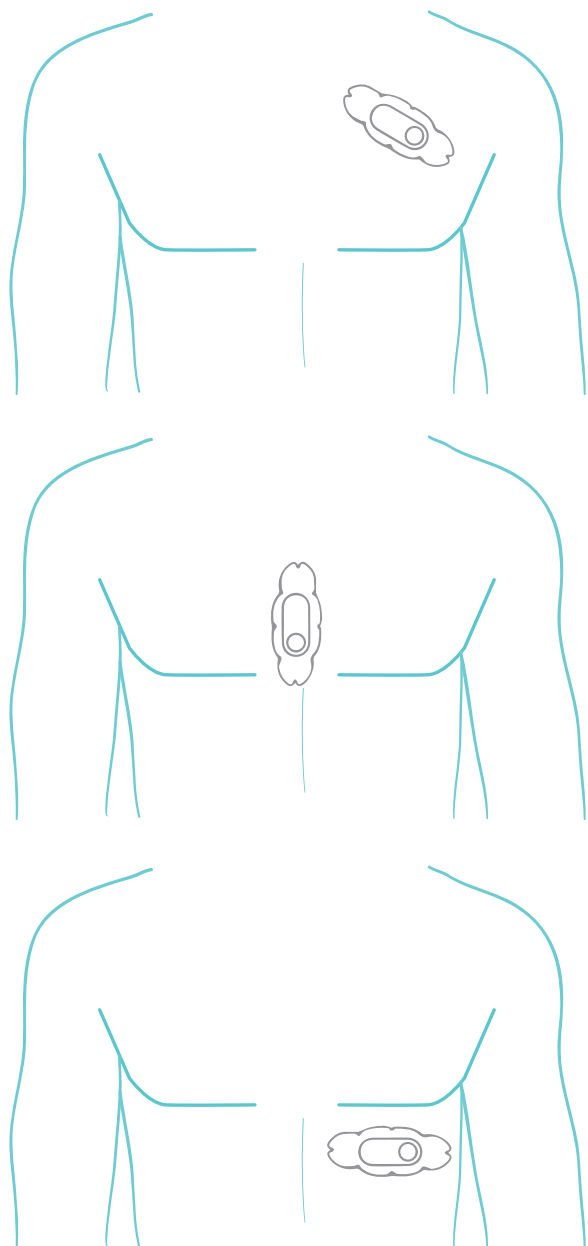
Bluetooth

Batería zinc aire desechable; 3 ó 4 días según su uso

Temperatura de uso: 10° a 40°C

Posee certificación de la FDA, está reglamentado por la Unión Europea, tiene la certificación Ninsho de Japón y está autorizado para venta en Canadá.

Es posible colocarlo en tres posiciones distintas: la primera es sobre el pecho, del lado izquierdo, con una inclinación de 45° (imagen superior); la segunda posición es al centro del pecho en forma vertical (imagen central); la tercera posición es bajo el pecho izquierdo, en forma horizontal (imagen inferior).



Izquierda: posiciones de HealthPatch MD; derecha: módulo del sensor y parche. Imagen tomada de ^{80,81}.

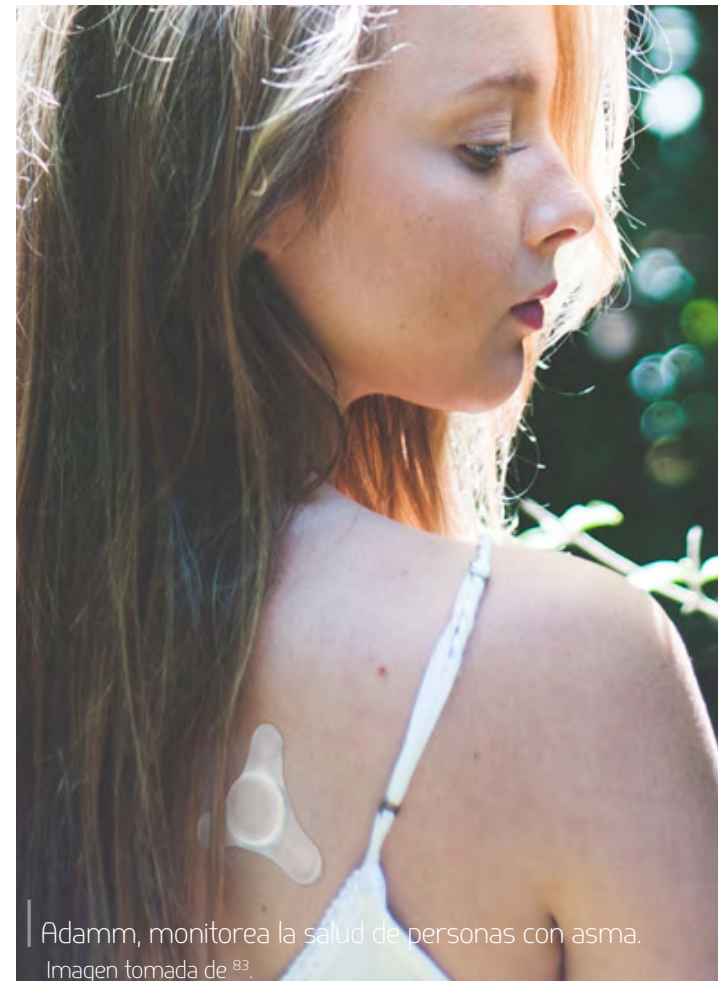
3.4.5 ADAMM⁸²

Desarrollado por Health Care Originals, Adamm es un wearable tipo parche que busca mejorar la calidad de vida de las personas diagnosticadas con Asma. Este dispositivo monitorea la respiración de los pacientes para alertarlos en caso de ser propenso a sufrir una crisis.

Este sensor se coloca en cualquier parte de la zona superior del torso, delante o detrás. Monitorea la frecuencia de la tos, los patrones respiratorios, la frecuencia cardiaca y la temperatura corporal.

En caso de alguna anomalía, el dispositivo vibra para alertar al paciente y envía una notificación a la persona que el paciente haya seleccionado. Pese a que cuenta con una app, esta no es indispensable para su funcionamiento, esto amplía el rango de personas que pueden usarlo pues no es necesario poseer un teléfono inteligente para que funcione correctamente.

Actualmente no se encuentra a la venta.



Adamm, monitorea la salud de personas con asma.
Imagen tomada de ⁸³.

CONCLUSIONES

Los wearables son una tendencia cada vez más fuerte en el mundo de la tecnología, no sólo ayudan a mantenerse informado o a entretenerse, también buscan el cuidado de la salud mediante la prevención. Grandes compañías han desarrollado o mejorado la tecnología con la que cuentan para poder adaptarse a estos nuevos dispositivos.

Uno de los principales puntos observados en los wearables para la salud es que buscan crear una relación de dependencia comercial con los pacientes, esto lo hacen desarrollando dispositivos conformados por dos elementos principales, uno desechable y otro reutilizable, pese a que incluyen el elemento desechable de inicio, la frecuencia de uso de ese elemento obliga al paciente a realizar una compra posterior para poder mantener el vínculo comercial, esto sin mencionar la cantidad de basura que produce el contar con elementos desechables en un objeto para el cuidado de la salud.

Este proyecto busca generar un oxímetro de bajo costo para el paciente, por lo que se considera evitar la inclusión de elementos desechables para así alargar lo más posible la vida del dispositivo sin generar gastos excesivos.

4. Materiales



El objeto que se desarrolla en este proyecto será usado por el paciente aproximadamente 16 horas al día. Al estar en contacto con la piel durante tanto tiempo, la zona donde este se ubique se podría ver afectada y sufrir lesiones, las cuales podrían ser causadas por la configuración del dispositivo o el material que lo constituya.

Elegir el material adecuado es importante pues se debe evitar que este sea perjudicial para el usuario, por ello es necesario conocer las características y aplicaciones de distintos materiales.

Actualmente existe una gran cantidad de materiales empleados para la producción de distintos objetos, sus características varían según las necesidades de cada producto. Al haber un mundo tan amplio de materiales, es necesario delimitar aquellos en los que este capítulo se enfocará. Ya que este proyecto desarrolla un dispositivo médico, se analizarán los principales materiales empleados en el campo de la medicina.

4.1 POLÍMEROS DE GRADO MÉDICO

Día con día se generan nuevos materiales con características específicas que responden a una o varias formas de producción para satisfacer las necesidades de la amplia variedad de dispositivos médicos en constante desarrollo. Los dispositivos médicos van desde equipos simples, como los usados para revisión de rutina, hasta implantes para diversas partes del cuerpo.

Los polímeros son uno de los materiales más usados para su producción debido a las ventajas que presentan en cuanto a peso, costo y desempeño. Los cuatro plásticos más usados en el campo de la medicina son, en primer lugar el PVC, seguidos por el polipropileno (PP), el polietileno (PE) y el poliestireno (PS), junto con copolímeros del estireno como el ABS y el SAN⁸⁵.

El oxímetro deberá estar diseñado en un material inerte que no permita el desarrollo de bacterias; resistente y con cierto grado de flexibilidad para que pueda ser colocado sin problemas. En esta sección se habla de características, tipos, y usos de los polímeros mencionados y de otros materiales importantes en la industria de la medicina.

4.1.1 POLICLORURO DE VINILO (PVC)

El PVC es el plástico más usado en la industria médica con el 25% de los productos fabricados en plástico de este mercado. Pese a generar diversas partículas tóxicas durante su producción, su bajo costo, su facilidad para adaptar sus propiedades a diversas aplicaciones y la sencillez de producción, mantienen al PVC a la cabeza de los plásticos usados en esta industria.

Existe PVC rígido y flexible, según los aditivos agregados se pueden generar materiales basados en PVC con gran cantidad de características específicas.

USOS Y APLICACIONES

Sus usos dependen de la rigidez del material, en la industria médica el PVC rígido se utiliza en conectores en Y; el PVC flexible se usa para la producción de empaques secundarios, blisters, contenedores de solución, tubos para transporte de fluidos, cámaras de goteo, diafragmas, anillos de arrastre, mascarillas para oxígeno y guantes⁸⁵.



4.1.2 POLIPROPILENO (PP)

Con una densidad de 0.905 g/cm^3 , el polipropileno es el más ligero de los plásticos importantes. Posee una elevada resistencia a la tracción, a las altas temperaturas y a la humedad, rigidez, dureza, excelentes propiedades eléctricas y es químicamente inerte, lo que impide el desarrollo de bacterias.

Existen tres tipos de polipropileno, el primero es el homopolímero, este es el más rígido de los tres, posee la mayor tracción mecánica y cuenta con la menor resistencia al impacto de los tres; el segundo es el copolímero random, es el más flexible de los tres además posee mejor resistencia a la temperatura ambiente que el homopolímero pero es poco resistente a bajas temperaturas; el tercero es el copolímero de impacto, este posee rigidez y resistencia a la tensión de nivel intermedio.

USOS Y APLICACIONES

El polipropileno homopolímero se usa para termoformado, películas y fibras orientadas, objetos de alta transparencia, jeringas, cierres, suturas, cortinas.

Los copolímeros random se usan para generar empaques de comida, productos químicos de uso doméstico, productos de belleza y recipientes transparentes.

Los copolímeros de impacto se usan para hacer películas, hojas, perfiles, elementos resistentes a la alta presión, bandejas médicas y piezas de paredes delgadas⁸⁵.



Estuche para colocar elementos médicos.
Imagen tomada de ⁸⁷.



Ropa para médicos, esterilizada y sin esterilizar, elaborada en PP. Imágenes tomadas de ⁸⁸.

4.1.3 POLIETILENO (PE)

Es un plástico ligero que posee buena tenacidad y flexibilidad en un amplio rango de temperaturas, es químicamente muy inerte y no se disuelve en ningún disolvente a temperatura por encima de la ambiente. Envejece al ser expuesto a la luz y al oxígeno. Según la forma de producción este material adquiere distintas propiedades.

Los tipos básicos de polietileno son:

- Polietileno de ultra baja densidad (ULDPE), polímeros con densidades de 0.890 a 0.905 g/cm³.
- Polietileno de muy baja densidad (VLDPE), polímeros con densidades de 0.905 a 0.915 g/cm³.
- Polietileno lineal de baja densidad (LLDPE), polímeros con densidades de 0.915 a 0.935 g/cm³.
- Polietileno de baja densidad (LDPE), polímeros con densidades de 0.915 a 0.935 g/cm³.
- Polietileno de densidad media (MDPE), polímeros con densidades de 0.926 a 0.940 g/cm³.
- Polietileno de alta densidad (HDPE), polímeros con densidades de 0.940 a 0.970 g/cm³.

USOS Y APLICACIONES

Se usa para producir películas para empaque, bolsas, parches que permiten la transpiración. El UHMWPE (Polietileno de ultra alto peso molecular) es usado como superficie de soporte en implantes de rodilla y cadera⁸⁵.

LDPE Y HDPE

Unas de las variantes más usadas del PE son el LDPE y el HDPE. Ambos son ligeros y de bajo costo; si el LDPE se produce mediante moldeo resulta más suave y flexible que el HDPE. El HDPE es translúcido en estado virgen, es más suave y flexible que el PET sin embargo es más permeable a los gases que este último⁸⁹.



| Polietileno que permite ser visualizado en toma de rayos X. Imagen tomada de ⁹⁰.

4.1.4 POLIESTERES

Las resinas poliéster presentan una gran versatilidad, pueden ser frágiles o duras, resistentes y elásticas, o suaves y flexibles. Los materiales principales de esta familia son el policarbonato, el PET y el PBT; los polímeros de cristal líquido también son considerados parte de los poliésteres.

USOS Y APLICACIONES

Los polímeros de cristal líquido se emplean para la producción de bandejas esterilizables, herramientas dentales e instrumentos quirúrgicos, cables de control para dispositivos quirúrgicos, tubos quirúrgicos, cánulas y películas.

El PBT⁹¹ (Tereftalato de Butildieno) es usado en empaques, instrumentos dentales, soportes miniatura para la navaja del escalpelo, y tapas que serán empleadas a alta temperatura.

POLICARBONATO⁸⁵

Este tipo de poliéster es muy resistente al impacto, es transparente como el cristal, su resistencia a la luz UV y a las altas temperaturas le permite ser usado para aplicaciones en exteriores.

USOS Y APLICACIONES

Se usa para la producción de aparatos médicos esterilizables, jeringas de alta presión, cánulas arteriales, llaves de paso, separadores de fuerza centrífuga, carcasas de filtros sanguíneos, carcasas de dializadores, glucómetros, plumas para medir la insulina, manijas y carcasas para dispositivos quirúrgicos.

PET⁸⁹

Es un tipo de poliéster transparente, ligero y muy fácil de reciclar, posee baja permeabilidad a los gases, lo que lo vuelve muy demandado para el embotellado de diversos líquidos.

Algunas variantes del PET son el APET (PET amorfo), el PET G (PET Glicol), el F-PET (película de grado PET) y el PEN (Naftalato de polietileno).

El PET transparente, el verde y el azul son fácilmente reciclados, al ser reprocesados se convierten en rPET, este material puede lograr calidad de grado alimenticio.



4.1.5 POLIESTIRENO (PS)

Es el plástico más simple basado en el estireno. El poliestireno sólido es incoloro, rígido y de flexibilidad limitada; es económico y se usa para producir objetos rígidos. Los principales tipos de poliestireno son el de propósito general o cristal (PS o GPPS), de alto impacto (HIPS) y el sindiotáctico (SPS).

El poliestireno de uso general se emplea para la fabricación de instrumentos de diagnóstico y mercancía desechable de laboratorio, cajas de Petri, componentes para cultivo de tejidos, matraces, y pipetas. Con el poliestireno orientado se producen películas que pueden ser impresas y laminadas para crear platos y charolas de servicio de comidas. La película también puede ser usada como un laminado para lograr gran brillo en ciertos objetos. Con el poliestireno de alto impacto se fabrica material de laboratorio y otros dispositivos médicos⁸⁵.

ABS⁹³

El ABS es un copolímero producido con base en tres monómeros: el acrilonitrilo, el butadieno y el estireno, cada uno de estos componentes definen las características de este material. El ABS posee resistencia térmica y química, y dureza proporcionados por el acrilonitrilo; el butadieno le proporciona resistencia al impacto; finalmente el estireno le otorga brillo superficial, rigidez y facilidad de procesamiento.

USOS Y APLICACIONES

Se emplea en partes automotrices, piezas de electrodomésticos, cajas y cubiertas de computadora, carcasas de teléfono y blindajes contra interferencias electromagnéticas.

SAN⁹⁴

El SAN está creado de copolímeros aleatorios amorfos de estireno y acrilonitrilo. Entre sus propiedades se encuentran su rigidez, dureza, es fácil de procesar, posee el brillo y la transparencia del poliestireno, además tiene una buena resistencia química.

Se emplea en lentes de instrumentos automotrices, recipientes de licuadoras y batidoras, jeringas médicas y aspiradores sanguíneos.



4.2 BIOMATERIALES

Otro tipo de materiales empleados en el campo de la medicina son los biomateriales. Algunas características generales de estos es que son farmacológicamente inertes y que son apropiados para su inclusión en sistemas vivos, potencian o sustituyen las funciones de los órganos y tejidos corporales.

Las características de este tipo de materiales varía según la necesidad a cubrir, por ejemplo, los biomateriales que se usarán en el sistema cardiovascular deben ser elásticos y compatibles con el flujo sanguíneo; aquellos usados para implantes óseos deben ser rígidos y resistentes tanto a cargas mecánicas como a diversos procesos de corrosión. Esta variedad de características permite que los biomateriales incluyan polímeros, metales e inclusive cerámicas o vidrios.

Estos materiales no son necesariamente inertes al cuerpo humano, muchos de ellos experimentan reacciones químicas benéficas con su entorno⁹⁶.



| Prótesis metálica para cadera.
Imagen tomada de ⁹⁷.

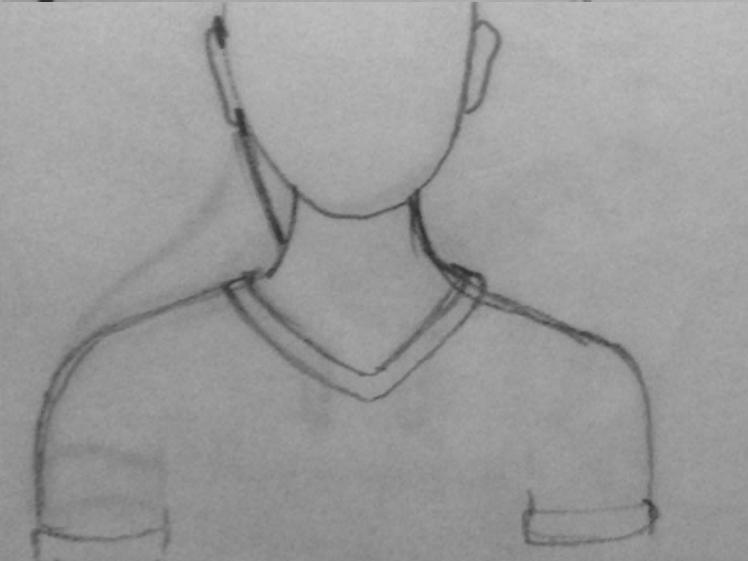
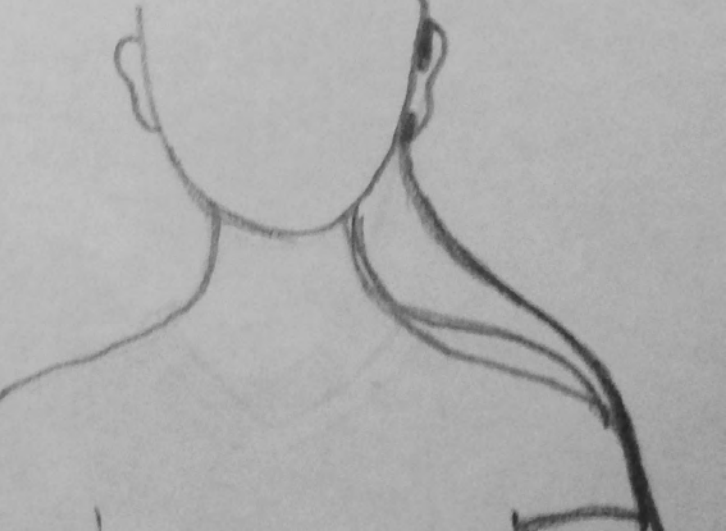
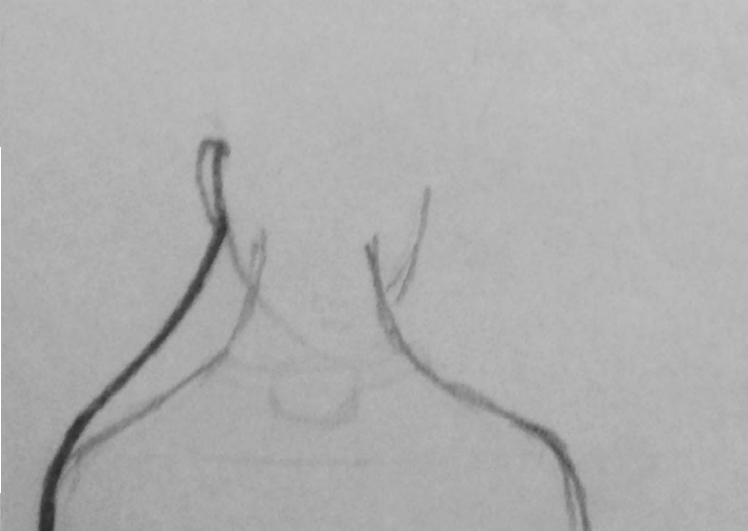
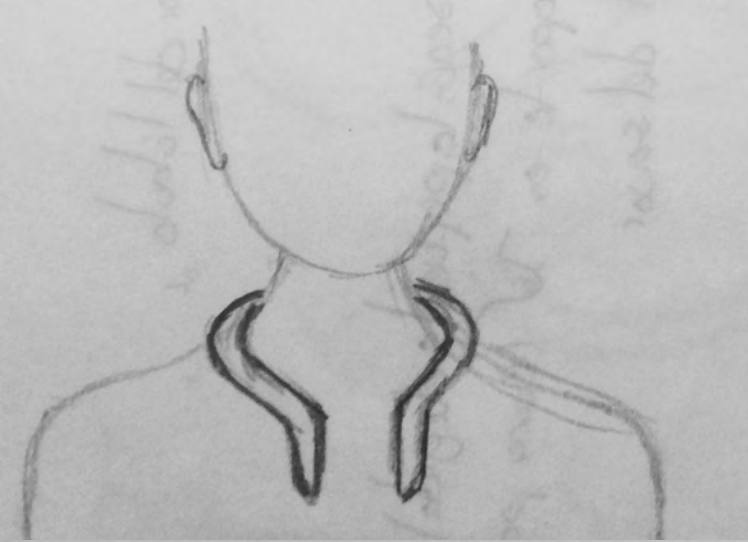
CONCLUSIONES

La versatilidad de los materiales plásticos generan una gran cantidad de opciones para producir objetos en la industria médica. Para la elección del material a usar en este proyecto, además de las características mencionadas al inicio del capítulo, se considerará aquel que brinde el mejor rendimiento costo/beneficio en términos que vayan más allá del costo de producción.

Uno de los aspectos principales que se tomarán en cuenta es el daño al medio ambiente y a la población en general, por esta razón el PVC queda descartado. Aunque su bajo costo lo posiciona como una opción interesante, que su producción libere partículas tóxicas y/o cancerígenas, contradice la búsqueda de una buena salud en las personas.

Otros de los materiales expuestos, como los biomateriales o ciertas variantes de los polímeros como el UHMWPE, sobrepasan las características deseadas para este proyecto, lo que los lleva a ser descartados pues podrían aumentar el costo de manera innecesaria. La decisión final respecto a la elección del material se presenta en el siguiente capítulo, donde además de las características del material, se analiza la forma de producción más adecuada para el diseño definitivo.

5. Proceso de diseño



A lo largo de este documento se presentan temas que complementan el desarrollo del oxímetro de pulso. Durante el capítulo 5 se integra y complementa la información presentada para generar propuestas de diseño pertinentes a los requisitos establecidos por el equipo de la Facultad de Ciencias.

Como se mencionó al inicio de la investigación, el objetivo de este proyecto es desarrollar un oxímetro de pulso para uso prolongado, alrededor de aproximadamente 16 horas diarias, que permita al usuario realizar sus actividades cotidianas. Su estética debe acercarlo al mundo de la tecnología portable. En cuanto a materiales, el oxímetro debe estar elaborado en un material inerte, liviano, resistente y de bajo costo.

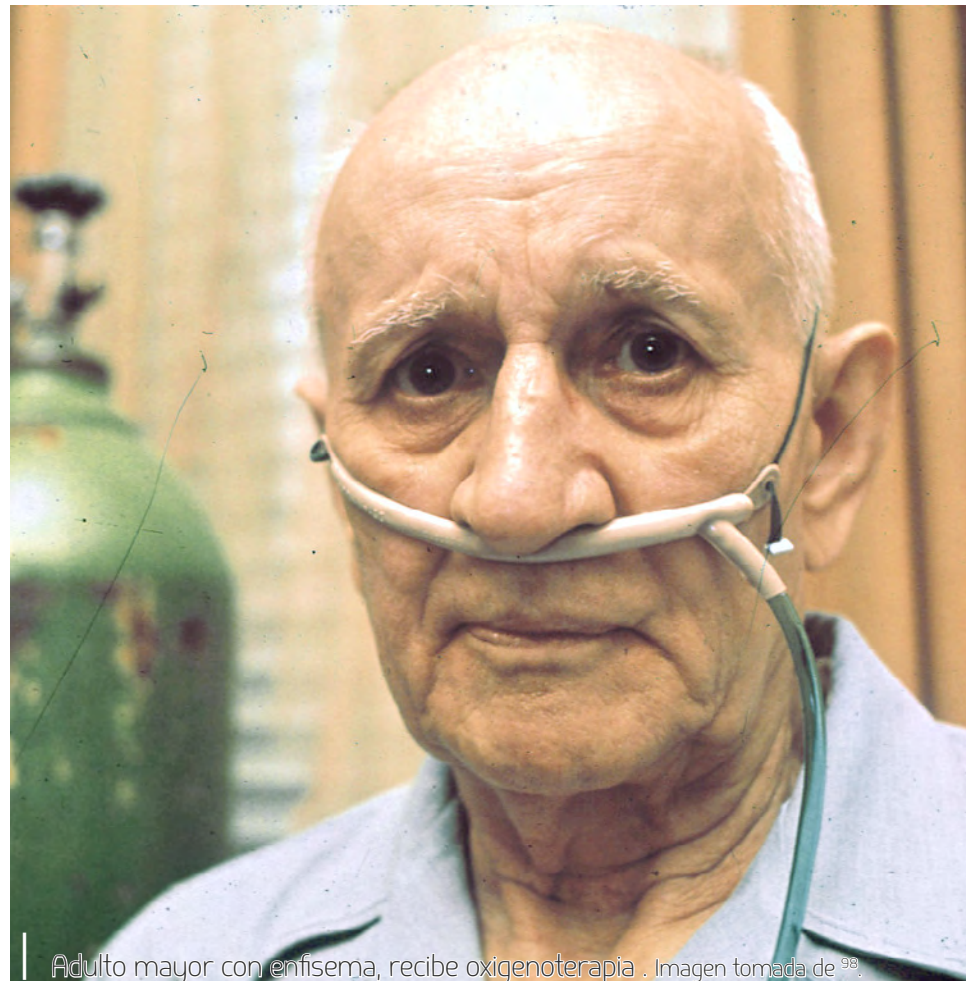
Otro de los objetivos planteados es el desarrollo de una app que permita a los usuarios observar la SpO_2 en el momento mediante una interfaz sencilla. Esta app deberá generar una alerta en caso de sufrir una baja de oxígeno que ponga en riesgo la salud del paciente. Además se deberá considerar que esta app envíe la información al médico para permitir un monitoreo continuo de su estado de salud. Este punto no será desarrollado en este documento.

5.1 USUARIO

En el capítulo uno se analizaron algunas de las enfermedades que puede sufrir alguien que necesita supervisar constantemente su SpO₂. En esta primer sección se hablará de las características de los usuarios.

El usuario al cual estará enfocado este trabajo es una persona mayor de 18 años de edad, diagnosticado con alguna enfermedad, principalmente respiratoria o cardiovascular, que afecte la cantidad de oxígeno en la sangre. Son pacientes que según el grado de avance de la enfermedad, sentirán dificultad al respirar mientras realizan alguna actividad física. Deben contar con dieta específica, rutinas de ejercicio y medicación adecuada indicadas por un profesional.

Para poder comprender mejor la vida de uno de los usuarios, se presenta la narrativa de un día en la vida de un paciente con EPOC.



Adulto mayor con enfisema, recibe oxigenoterapia. Imagen tomada de ⁹⁸.

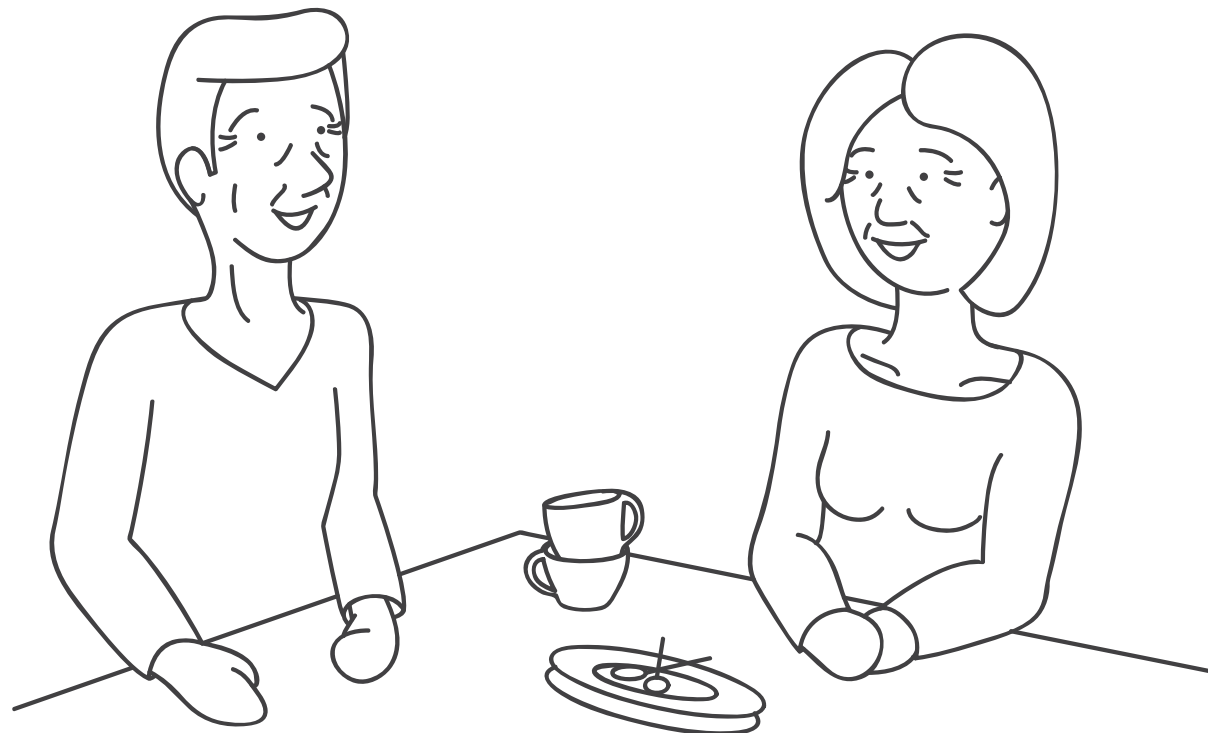
5.1.1 UN DÍA EN LA VIDA

Sofía es un adulto de 70 años de edad diagnosticada con EPOC desde hace 5 años. Vive en una casa de dos pisos junto con Alberto, su pareja.

Cada día Sofía despierta a las 8am, toma la ropa que está sobre la silla junto a su cama y se viste. Se levanta lentamente de la cama pues el médico recomendó que realice sus actividades con tranquilidad.

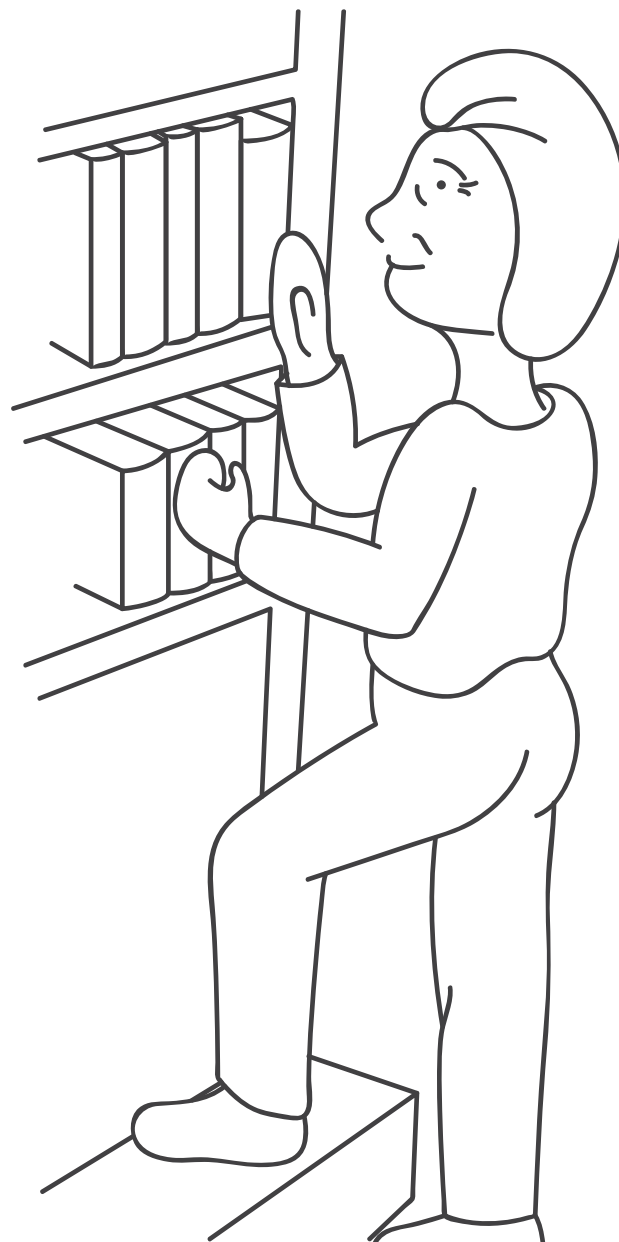


Alberto despierta media hora antes para preparar el desayuno. Una vez que Sofía termina de vestirse, camina hacia el comedor, allí la esperan su pareja, el desayuno y los medicamentos que debe tomar a las 9am. Sentados a la mesa, platican sobre las noticias, la familia y otros temas de interés. Durante la charla resulta relevante que ese día habrá doble Hoy no circula debido a la contingencia ambiental. Sofía se molesta pues debían ir por medicamento a la farmacia y debido al EPOC debe evitar exponerse al aire libre si hay demasiada contaminación. Su pareja le recuerda que pueden llamar a Alicia, su hija, para pedirle el medicamento. La plática continúa y antes de lo esperado dan las 9:30 am, la toma del medicamento se retrasa media hora.



Mientras Alberto se baña, ella considera fácil bajar libros de la parte superior del librero. Acerca un banco pequeño, sube a este y al estar bajando algunos libros nota dificultad para respirar y aumento en el cansancio corporal. En ese momento, Alberto la ve y corre a ayudarla, la sienta en una silla cercana y va por su oxígeno.

Entre las recomendaciones hechas por el médico se encuentran usar oxígeno al realizar alguna actividad física como salir a caminar, llevar una dieta adecuada que no someta su cuerpo a grandes esfuerzos, tomar sus medicamentos puntualmente y seguir la rutina de ejercicios acordada.





El día transcurre, Sofía camina lentamente dentro de la casa para mantenerse activa, realiza los ejercicios de respiración que ayudan a fortalecer los músculos y mantener las vías respiratorias abiertas por más tiempo.

Hacia la tarde llega Alicia, después de trabajar pasa a visitar a sus padres para entregarles el medicamento y preguntar sobre su salud, también lleva algo de comida. Después de cenar, Alicia alista la ropa que su mamá usará al día siguiente y la coloca en la silla junto a la cama, se despide y parte hacia su hogar.

Aunque originalmente su habitación se encuentra en la parte alta de la casa, Sofía y Alberto decidieron acondicionar un espacio en la planta baja para que Sofía no tuviera que subir y bajar escaleras. Una vez que Alicia se marcha, ellos van a dormir.



Pruebas médicas para el diagnóstico de enfermedades respiratorias. Imagen tomada de ⁹⁹.

5.2 DELIMITANTES

Para la realización de este proyecto se deben tener en cuenta ciertos parámetros, para fines prácticos estos se dividieron en dos categorías, la primera comprende aquellas delimitantes establecidas tácitamente por los usuarios, las segundas son aquellas generadas por los elementos electrónicos (EE) del oxímetro.

5.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL PACIENTE

Según el grado de avance de la enfermedad, el paciente puede presentar mayor o menor grado de agotamiento ante la actividad física. Esto quiere decir que los pacientes con mayor avance en su enfermedad presentarán una mayor dificultad para realizar actividad física por lo tanto el oxímetro debe ser fácil de colocar.

Una parte común de la rehabilitación para pacientes con enfermedades respiratorias es la terapia con oxígeno, se debe considerar la posibilidad de coexistencia del oxímetro con alguno de los sistemas usados en la oxigenoterapia. Al ser de uso prolongado, el usuario debe poder realizar sus actividades cotidianas sin preocuparse por el oxímetro.

5.2.2 ELEMENTOS ELECTRÓNICOS

En cuanto a las características de los EE se debe tener en cuenta las dimensiones y el peso de cada uno de los componentes. El oxímetro está compuesto por dos elementos electrónicos, el primero es el microcontrolador, que junto a la batería, se unen mediante un cable al sensor. El sensor es el segundo elemento de los EE, este está compuesto a su vez por dos elementos: dos LEDs, uno rojo y uno infrarrojo, y un fotodetector; a continuación se describen las características más importantes de estos elementos.

LEDS

La fuente de luz empleada para desarrollar este oxímetro consta de dos LEDs, uno rojo y uno infrarrojo, contenidos en un solo empaque de plástico transparente rectangular con dos pines, se obtuvo de un oxímetro comercial.

Sus longitudes de onda y ancho de banda se midieron de manera experimental, el LED rojo dio como resultado $656.92 \pm 0.29\text{nm}$ y $32.37 \pm 0.60\text{nm}$ respectivamente, el LED infrarrojo dio como resultado $932.53 \pm 0.24\text{nm}$ y $74.08 \pm 0.52\text{nm}$ respectivamente. Las dimensiones de los LEDs a emplear son: 3.2 mm x 1.6 mm



| LED rectangular. Imagen tomada de ¹⁰⁰.

FOTODETECTOR¹⁰¹

El sensor utilizado para detectar la luz proveniente de los LEDs es un fotodetector OPT101 marca Texas Instruments, este contiene un fotodiodo y un circuito de transimpedancia integrados que permite obtener un valor de voltaje proporcional a la intensidad de la luz incidente en el fotodiodo, además amplifica la señal haciendo uso de la resistencia interna que contiene o colocando una de manera externa.

Los sensores no pueden distinguir diferentes longitudes de onda, por lo que se hicieron parpadear de manera alternada al encenderlos y apagarlos por periodos de 6.750 ms.

Las dimensiones del fotodetector son: 2.29 mm x 2.29 mm

El peso aproximado de los LEDs, el fotodetector y el soporte empleado por el equipo es de 27.3 g.

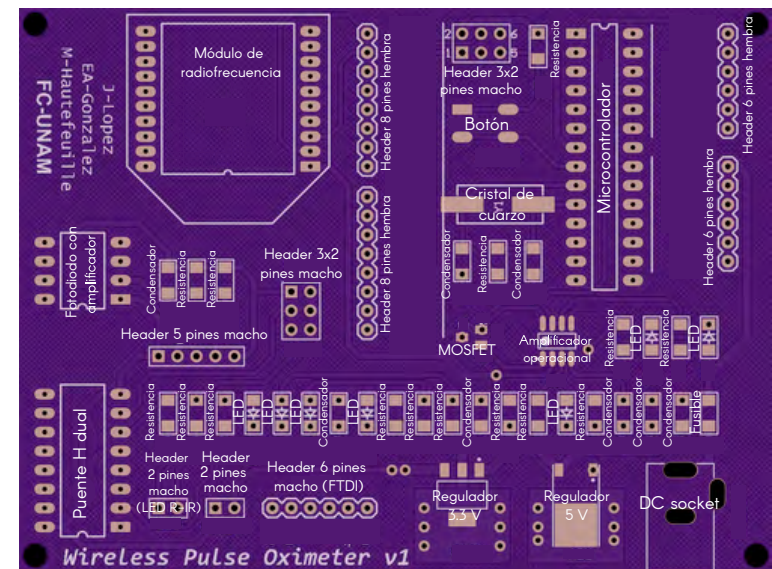


MICROCONTROLADOR¹⁰³

Este circuito es capaz de ejecutar una serie de instrucciones o programa, esto le permite vincularse con el mundo exterior mediante el control de dispositivos externos y la lectura de sensores vía puertos de entrada y de salida.

Arduino fue la plataforma elegida para desarrollar el microcontrolador pues posee un entorno amigable para la programación y es código abierto. Se tomó como base la placa Arduino UNO, esta cuenta con pines de entrada y salida, analógicos (6) y digitales (12), se programa y alimenta mediante un puerto USB (también puede alimentarse de manera externa con una fuente de entre 6V y 12V), posee dos salidas de voltaje de 5V y 3.3V, utiliza un microcontrolador Atmega 328 de Atmel.

Las dimensiones de la placa arduino son: 68.6 mm x 53.4 mm
Su peso es de: 25 g



5.3 POSICIÓN EN EL CUERPO

El oxímetro planteado por el equipo está configurado para obtener la lectura por transmisión, esto quiere decir que el fotodetector estará colocado frente a los emisores de luz, esta configuración limita las zonas del cuerpo donde se puede colocar pero permite una obtención de datos más confiable.

Las zonas del cuerpo donde puede colocarse un oxímetro por transmisión son los dedos de los pies y de las manos, y las orejas. En esta sección se analizarán dichas partes del cuerpo para decidir cual es la mejor opción.



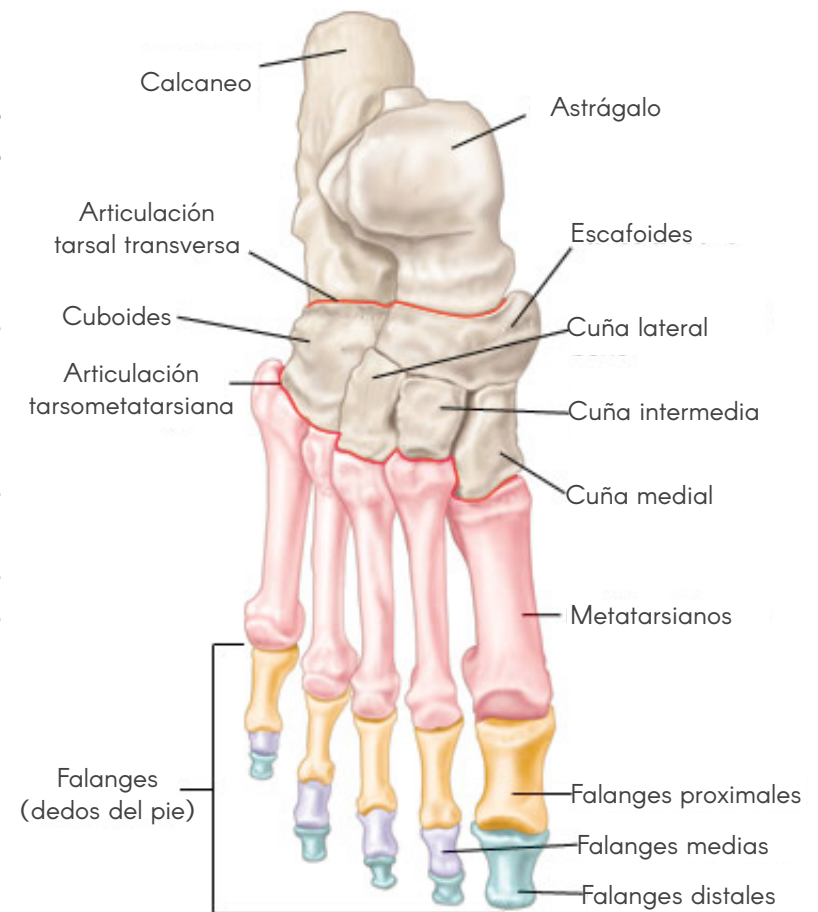
Orejas, pies y manos, posibles zonas para colocar el oxímetro por transmisión. Imagen tomada de ^{104, 105, 106}

5.3.1 PIES

Cada pie está formado por 26 huesos y 33 articulaciones¹⁰⁷. La región de los metatarsianos recibe aproximadamente el 40% del peso corporal, mientras que el talón recibe el 60%, este porcentaje se modifica en relación con la altura del tacón que use la persona.

Junto con el sistema muscoesquelético, el nervioso, el somatosensorial, el vestibular, y la vista, los pies son necesarios para poder caminar y mantener el balance en posición estática.

Tanto la planta como los dedos de los pies poseen una gran cantidad de mecanorreceptores, mediante estímulos, estos permiten identificar la superficie sobre la cual se está parado. Estas funciones se deterioran con la edad o por enfermedades como la diabetes, por ello personas de edad avanzada son más propensas a perder el equilibrio al estar de pie o caminar¹⁰⁸.



Huesos del pie. Imagen tomada de ¹⁰⁹.

5.3.2 MANOS



Cada mano está formada por 27 huesos, en conjunto sirven al humano para entrar en contacto con el espacio que los rodea. Son tan versátiles en cuanto a movimiento y fuerza que la mayor parte de los objetos están diseñados para ser sujetados con las manos. Permiten realizar actividades de alta precisión y también actividades que necesitan una gran cantidad de fuerza. Las habilidades que posee la mano son: sujeción, manipulación precisa y pinza de precisión.

“El complejo sistema que constituye la funcionalidad de la mano humana, indica que cualquier alteración en ella (desde una fractura hasta una amputación parcial o total del miembro superior), afecta el normal desarrollo de las actividades de una persona, y compromete su calidad de vida e incluso su autoestima.”¹¹⁰

5.3.4 OREJAS

También llamada pabellón auricular, es un repliegue cartilaginoso cubierto de partes blandas que se encuentra ubicado en las zonas laterales de la cabeza, por detrás de la articulación de la mandíbula. Se encuentra entre dos líneas horizontales, la superior pasa por las cejas y la otra, por la parte inferior de la nariz.

La disposición y configuración del pabellón auricular permiten captar el origen del sonido pues facilita la recepción de ondas sonoras; los músculos que la integran están inactivos. A diferencia de las manos y los pies, la oreja no cuenta con articulaciones, lo que limita su movimiento al realizado por la cabeza¹¹¹.



Oreja. Imagen tomada de ¹¹².

5.3.5 ANÁLISIS

Con la información presentada se concluye lo siguiente:

La colocación de cualquier dispositivo en el pie podría afectar la sensibilidad de los dedos y la planta del pie, perjudicando el equilibrio y marcha del usuario.

La colocación de cualquier dispositivo en las manos del paciente entorpecería el desarrollo de sus actividades diarias pues limita la habilidad de agarre de la mano. De igual manera, al tener un dispositivo electrónico en la mano debe evitarse que este entre en contacto con agua, por lo que tendría que ser retirado en caso de que el usuario requiera lavarse las manos.

Las orejas no cuentan con articulaciones propias, por lo tanto su movimiento es más restringido que el de manos o pies, lo que reduce la probabilidad de fallo en la lectura del SpO_2 .

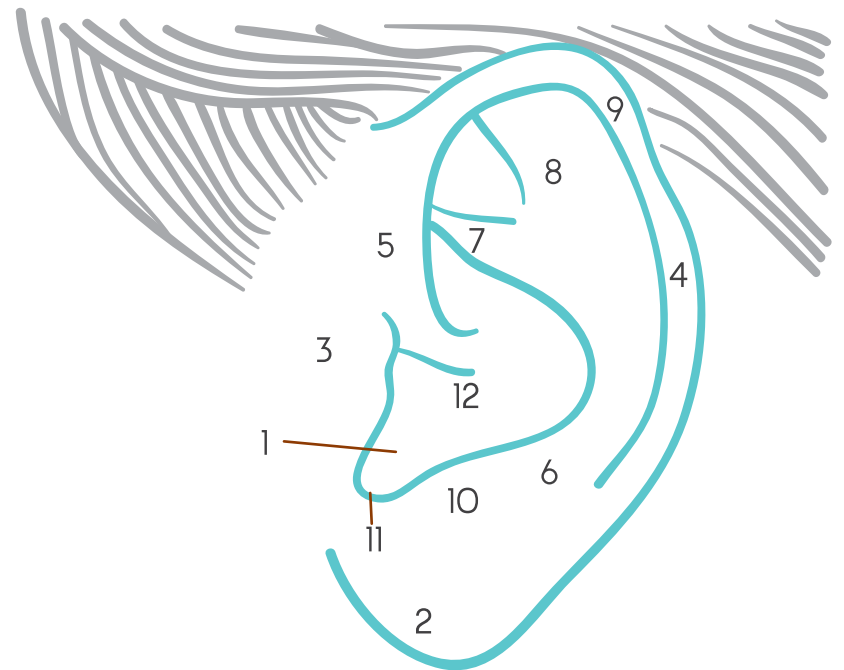
Al tener como objetivo diseñar un oxímetro que permita al usuario realizar su vida normal, se considera que el mejor lugar para posicionarlo es la oreja pues deja libres manos y pies, esto permite una completa movilidad manual y no interfiere con la estabilidad ante la marcha; a la par reduce la cantidad de movimiento al que se enfrentará el oxímetro, esto disminuye la posibilidad de error en la lectura.

5.4 MORFOLOGÍA DE LA OREJA

Para poder definir el diseño es necesario conocer las proporciones y dimensiones de las orejas en diversos individuos, por ello se investigó la morfología de la oreja en diversos documentos, los datos obtenidos se muestran en esta etapa.

La oreja es un órgano simétrico bilateral, compuesto por cartílago y piel; el lóbulo es la única parte de la oreja que no se encuentra formada por cartílago pues está conformada por tejido fibroadiposo¹¹¹. Es una estructura compleja pues cuenta con gran cantidad de pliegues que varían de persona en persona, esto posibilita su uso en las ciencias forenses para identificar personas¹¹³.


Las partes principales de la oreja son: el hélix, el antehélix, el trago, el antitrago, la fosa escafoidea (canal de hélix), el cartílago auricular y el lóbulo.



- | | |
|------------------------------|---------------------------------|
| 1. Conducto auditivo externo | 7. Pilar inferior del antehélix |
| 2. Lóbulo | 8. Pilar superior del antehélix |
| 3. Trago | 9. Tubérculo auricular |
| 4. Hélix | 10. Antitrago |
| 5. Pilar del hélix | 11. Escotadura antigrágica |
| 6. Antehélix | 12. Concha |

5.4.1 ZONAS PARA COLOCACIÓN

Según la morfología de la oreja, las zonas que presentan menos complejidad para colocar paralelamente el fotodetector y los LEDs son el lóbulo de la oreja y en el pilar superior del antehélix pues son zonas amplias y con menor curvatura que el resto.

 Zonas adecuadas para colocación del sensor



5.5 WEARABLES PARA LA OREJA

Uno de los objetivos de este proyecto es incluir al oxímetro en el mundo de los wearables. Previamente se realizó un análisis de diversos dispositivos enfocados a la salud, ahora se presentan wearables con distintos objetivos cuyo punto en común es que se colocan en la oreja. El fin de este análisis es observar las soluciones elegidas por otros desarrolladores de wearables y cuales son los principales usos de los mismos.

Los wearables que se analizarán son Inner Balance de HeartMath, Cosinusso One, The Dash de Bragi y BitBite. El primero busca guiar al usuario a lo largo de terapias para reducir el estrés de la vida diaria; el segundo y el tercero son audifonos especialmente diseñados para deportistas, además de su uso evidente permiten supervisar diversos signos vitales; finalmente el cuarto permite al usuario supervisar y mejorar sus hábitos alimenticios.

A lo largo de este apartado se analizarán características de cada uno de los dispositivos presentados.



Wearable que traduce idiomas distintos al momento.
Imagen tomada de ¹¹⁶.

5.5.1 INNER BALANCE¹¹⁷

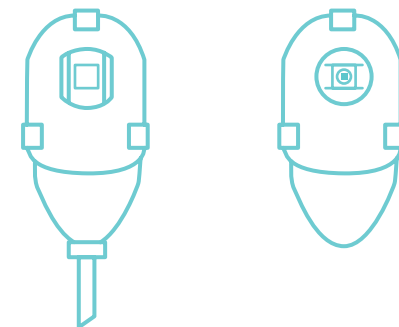
Desarrollada por HeartMath es un conjunto app-sensor que permite realizar terapias de relajación para reducir la tensión. Registra la variación en la frecuencia cardiaca, la cual puede ser un indicador de estrés. El sensor se coloca en el lóbulo de la oreja y se conecta con dispositivos Apple.

La app es compatible únicamente con iOS y es la encargada de guiar las sesiones, almacena la frecuencia cardiaca y el progreso que el usuario ha tenido durante su uso.

ESPECIFICACIONES

Dimensiones: 191.92mm

Peso: 5.67g



Sensor y app Inner Balance(izquierda); esquema detallado del sensor(derecha). Imágenes obtenidas de ^{118, 119}.

5.5.2 COSINUSS^o ONE¹²⁰

Este wearable posee una forma similar a la de un audífono para atletas. Su diseño permite usarlo en la oreja izquierda o en la derecha al poder girar el elemento que se introduce en el oído.

Diseñado especialmente para deportistas, ayuda a medir la temperatura corporal, la frecuencia cardíaca y su variabilidad. El objetivo de este dispositivo es prevenir la deshidratación y por consiguiente, evitar el golpe de calor al realizar alguna actividad física extenuante.

Pese a poseer una app, también es compatible con cualquier aplicación de deportes. Permite pausar y detener una sesión de ejercicio, y guarda la información para que el usuario pueda conocer su desempeño.

Este dispositivo se encuentra a la venta en cuatro tamaños diferentes (XS, S, M, L).

ESPECIFICACIONES

Dimensiones: 45mm x 18mm x 38mm

Peso: 6.5g

Bluetooth 4.0 o LE

Batería recargable, dura 10 horas de uso continuo

Tiempo de carga: 1 hora



Wearable Cosinuss^o One. Imagen tomada de ¹²⁰.

5.5.3 THE DASH¹²¹



The Dash son audífonos inalámbricos desarrollados por Bragi. Están pensados para ser usados por deportistas. Cuenta con 4Gb de espacio para almacenar hasta 1000 canciones, es posible usarlo como manos libres. Permite a los usuarios conocer su ritmo cardíaco, contar pasos y saber el tiempo y distancia que recorrieron; otra de sus características es que bloquea o amplifica el sonido ambiente para ajustarse a los gustos y necesidades de cada persona.

Su app permite ver la información recopilada, es compatible con iOS, Android y Windows 10 mobile.

ESPECIFICACIONES

Cuatro tamaños diferentes

Bluetooth 4.0 o LE

Batería recargable, dura 3 horas al escuchar música y 4 sin música

Tiempo de carga: 2 horas

5.5.4 BITBITE¹²²

Este dispositivo tipo clip busca mejorar los hábitos alimenticios del usuario, se coloca en la concha de la oreja y se puede portar en dos elementos, uno es una pulsera y el otro es un clip que permite llevarlo en la ropa. Está elaborado en aluminio, ABS y caucho suave.

Cuantifica la cantidad de comida ingerida, la forma de masticar y el ritmo con el que se hace. Al usarlo retroalimenta al usuario dando consejos para mejorar su forma de comer. Si la persona que lo usa dice en voz alta lo que come, el dispositivo documenta lo que se está ingiriendo para así llevar un registro de calorías. También documenta los lugares y horarios de alimentación.

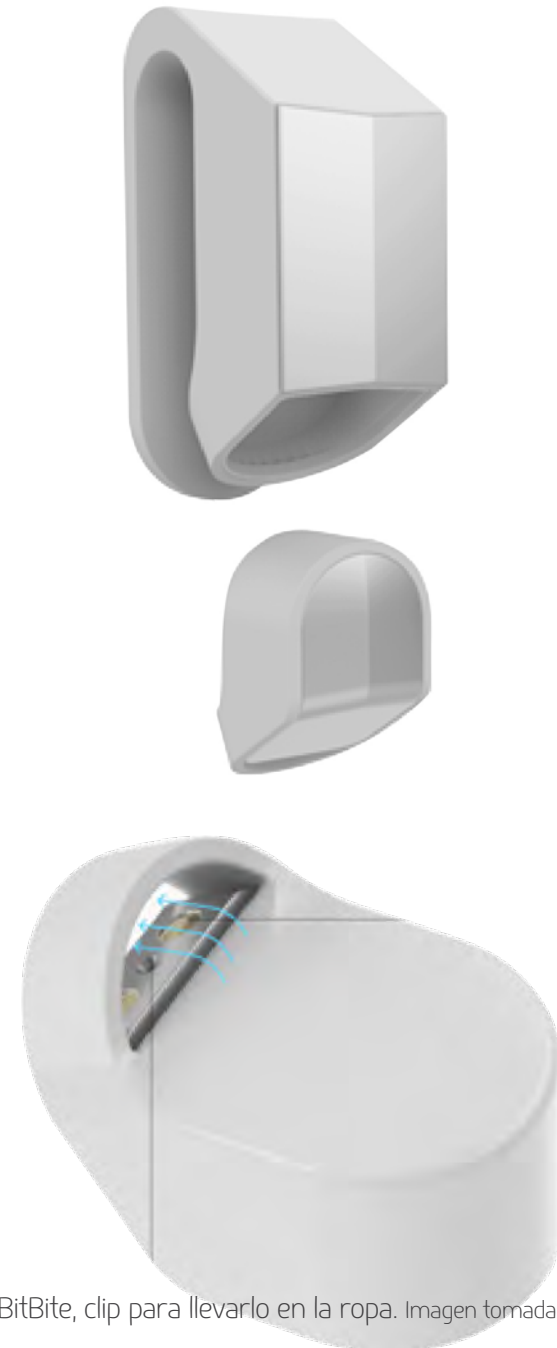
La app, compatible con iOS y Android, funciona como un lazo entre el dispositivo y la nube para poder almacenar la información del usuario. Las dimensiones finales aún se encuentran en desarrollo.

ESPECIFICACIONES

Peso: menos de 85g

Batería recargable, 3 días de uso

Tiempo de carga: 3 horas



BitBite, clip para llevarlo en la ropa. Imagen tomada de ¹²².

5.5.5 ASPECTOS ÚTILES

De los dispositivos analizados se realizaron las siguientes observaciones:

La mayoría de los wearables analizados pueden ser usados en cualquiera de las dos orejas, sin importar la zona donde se colocará, esto lo logran mediante simetría bilateral. Dado que las condiciones específicas de tratamiento y salud de cada paciente presentan muchas variables, el oxímetro deberá permitir colocarse en cualquiera de las orejas.

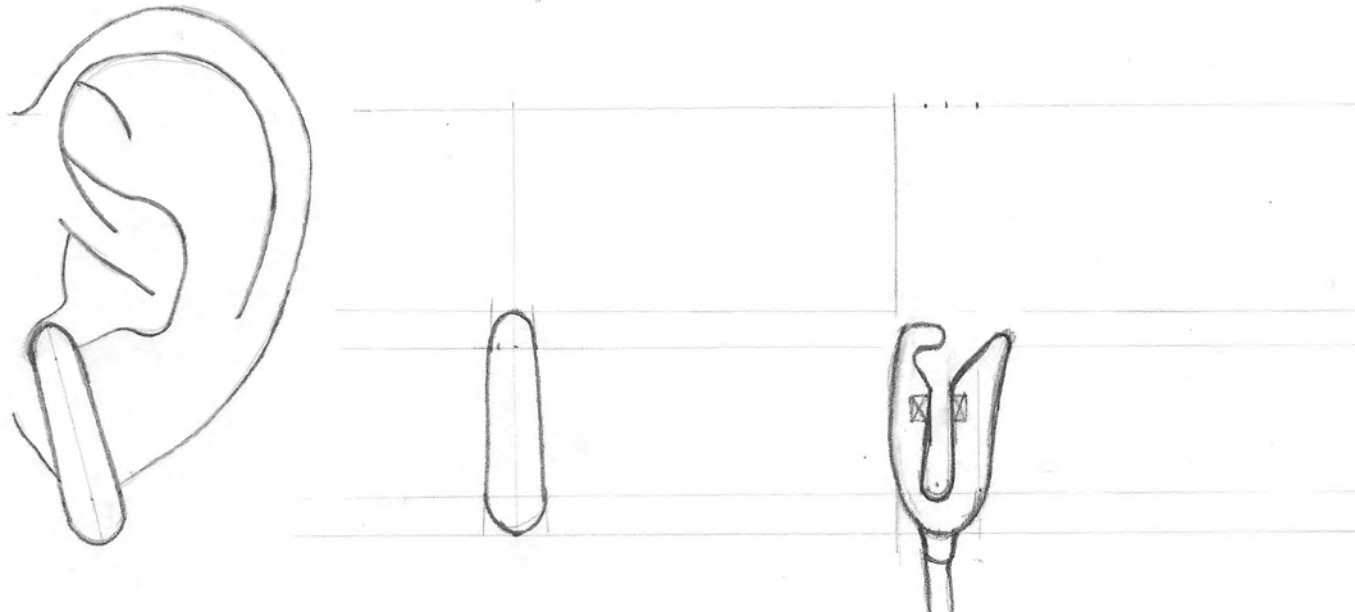
Todos se sincronizan con apps en teléfonos inteligentes, algunos se encuentran más limitados en el aspecto de compatibilidad que el resto. Al diseñar un producto para el cuidado de la salud, este proyecto deberá considerar generar un oxímetro compatible con la mayoría de los dispositivos, tanto teléfonos inteligentes como computadoras.

Dos de los productos analizados cuentan con cuatro tamaños distintos para un mejor ajuste, otro de ellos aún se encuentra en proceso de desarrollo por lo que sus dimensiones finales aún no han sido anunciadas.

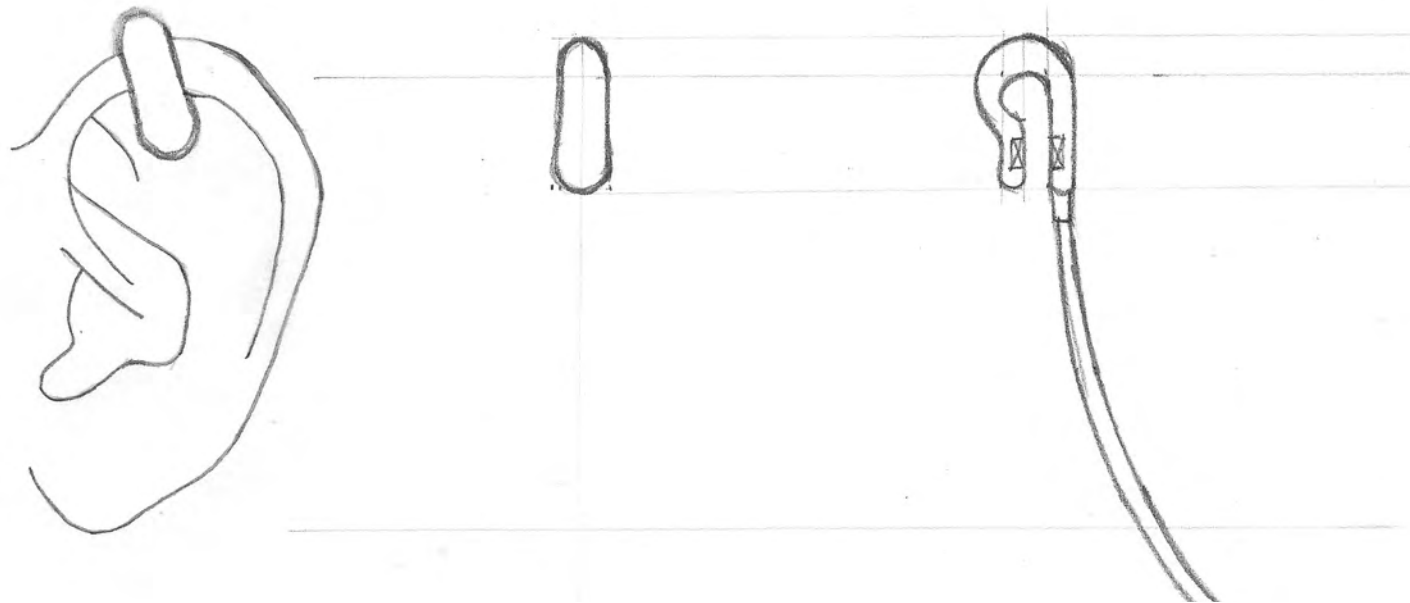
5.6 PROPUESTAS

Con la información previamente presentada se procede a realizar propuestas generales que sigan únicamente las posiciones definidas en la sección de Morfología de la oreja, estas zonas son el lóbulo y el pilar superior del antehélix. Para la realización de estas propuestas también se toma en cuenta el uso de la simetría bilateral como la presentada en los wearables analizados, esta se aplica en el eje sagital de cada una de las propuestas.

La primer propuesta mostrada posiciona los leds y el fotodetector en el lóbulo, se soporta en la escotadura intertrágica mediante una pequeña protuberancia. El cable sale de la parte inferior del sensor y se conecta con el soporte del microcontrolador. La parte posterior del sensor cuenta con una curva que imita la parte posterior de la concha.



La segunda propuesta se coloca en la parte superior de la oreja, toma la lectura del SpO_2 en el pilar superior del antehélix; el soporte rodea al hélix para colocar el fotodetector en la parte posterior de la oreja. El cable sale de la parte posterior del sensor y baja por detrás de la aurícula para conectarse al soporte del microcontrolador.



Al analizar distintas orejas se observa una variedad muy amplia en las dimensiones, configuración y curvatura de la zona superior de la oreja (conformada por el hélix, el antihélix, la fosa escafoidea, y la fosa triangular), por esta razón resulta complejo establecer medidas promedio para el diseño de propuestas, por dicha razón se eligió al lóbulo como zona para colocar el sensor.

5.7 CONCEPTOS DE DISEÑO

Para la realización de la segunda etapa de propuestas se eligieron dos conceptos como eje rector, el primero buscará que el diseño pase desapercibido mientras que el segundo lo volverá evidente. Para desarrollar la primer vertiente se eligió la mimesis.

5.7.1 MÍMESIS

La mimesis es un principio estético de origen griego, Platón y Demócrito lo usaban para referirse a la imitación literal de la naturaleza, especialmente en las artes utilitarias que replicaban la apariencia de las cosas.

Aristóteles presenta una visión distinta, él postula que la mimesis es la imitación de la realidad, tanto de la naturaleza como de las actitudes humanas, desde un enfoque libre, no de manera exacta sino como una representación personal; “si bien la obra no puede alejarse de aquello que imita, tampoco puede perder su carácter de creación”¹²³.



| Techno naturology, proyecto de Elaine Ng que se transforma según la humedad en el ambiente. Imagen tomada de ¹²⁴.

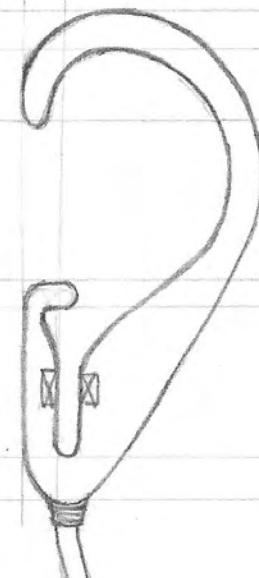
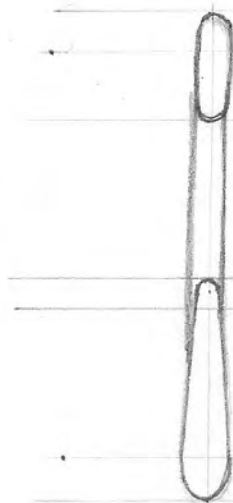
Al usar la mimesis como línea de diseño se sigue la tendencia de otros dispositivos médicos tales como los auxiliares auditivos e implantes cocleares. Estos usualmente se elaboran en color piel y/o asemejan la forma de la oreja para que pasen desapercibidos y los pacientes no se sientan incómodos por su presencia.

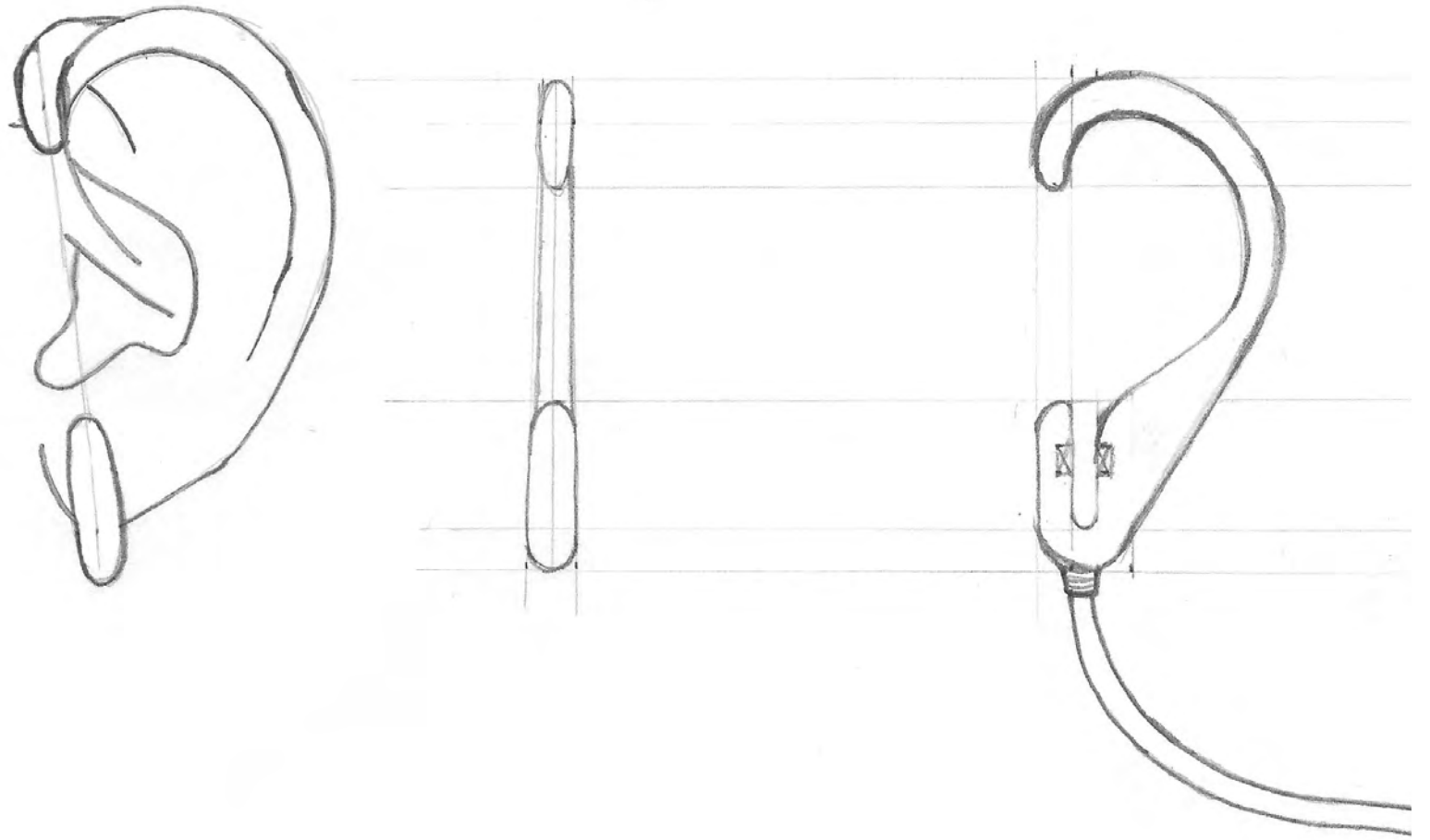


PROPUESTA A

La propuesta A retoma la silueta de la oreja, representando así el sitio donde se colocará y permitiendo un mejor ajuste del oxímetro. Cuenta con soporte en dos puntos, la parte superior de la oreja y en la escotadura intertrágica. Sigue el contorno posterior del pabellón auricular, hace una vuelta en U en el lóbulo, donde están colocados los LEDs y el fotodetector para terminar en la escotadura intertrágica. El cable sale de la parte inferior del sensor para conectarse al soporte del microcontrolador.

La segunda imagen representa una variante de la propuesta inicial en la cual se elimina la protuberancia para la escotadura intertrágica, dejando el soporte solo en la parte superior de la oreja.





PROTOTIPO RÁPIDO

Se decidió evaluar esta propuesta mediante la realización de un prototipo rápido, este fue producido en PVC espumado. Se eligió la primer versión de la propuesta A para analizar los elementos propuestos y su interacción con el usuario. Además del sensor se realizó una prueba dimensional del microcontrolador. Además de esta prueba se realizó otro sensor en rellenedor plástico, de este modo fue posible evaluar dos flexibilidades distintas en el mismo elemento; para esta prueba se eligió la segunda versión de la propuesta A.

Se probó en 4 mujeres, de entre 20 y 50 años de edad, ninguna presentó problemas para colocar el lóbulo en la ranura, sin embargo dos de ellas comentaron que el dispositivo no era cómodo en la parte superior pues era muy pequeño. Las personas que lo probaron entendieron rápidamente que debían usarlo en la oreja, aunque en general pidieron ayuda para colocarlo. Todas manifestaron miedo de romper el sensor de rellenedor plástico pues les parecía muy delgado y era duro.

Otro de los detalles observados fue que hay muchas variables en esta propuesta que pueden variar según el usuario, estas son: la longitud del lóbulo, el grosor del lóbulo, el ancho posterior de la concha, el largo de la concha y la amplitud de la curva superior.





| Prototipo rápido 1

5.7.2 EVIDENTE

Un problema usual con los dispositivos médicos que se colocan en la oreja suele ser que los pacientes no los usan. Varios son los factores causantes de esto, entre ellos se encuentran el menospreciar la utilidad de dicho elemento y la estigmatización de la audición referente a los problemas cosméticos generados por el uso de dichos dispositivos¹²⁸.

Ante esta situación se presenta el segundo concepto: Evidente.

Normalmente los aparatos auditivos buscan pasar desapercibidos, lo que se desea lograr al volverlo evidente es alejar al oxímetro del grupo de aparatos médicos para que sea percibido como un elemento ornamental que está enfocado a la tecnología y a la joyería.

Actualmente los wearables con apariencia de joyería son una tendencia que día a día gana popularidad, por lo que fusionar tecnología y joyería es un camino perfectamente aplicable a este oxímetro.



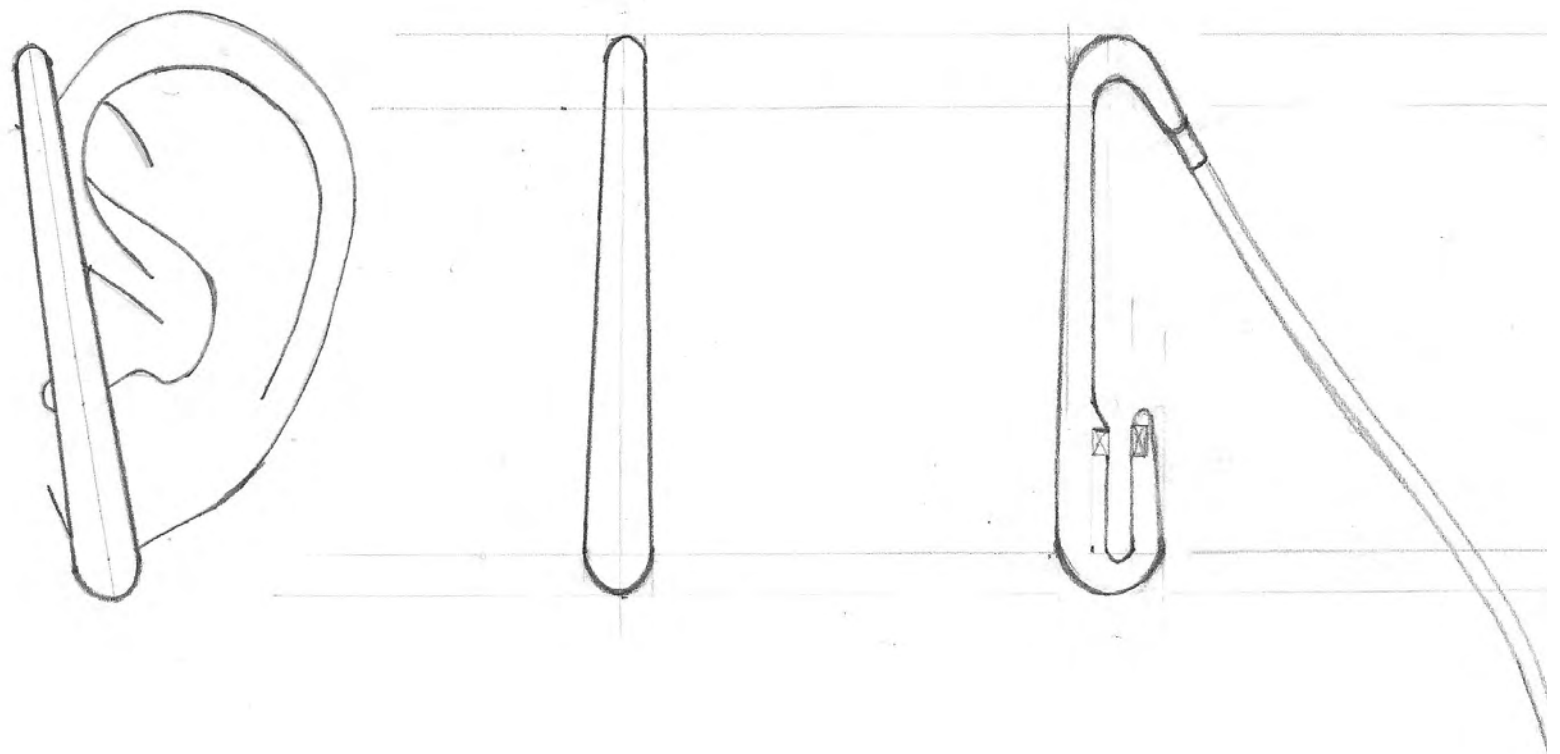
DareDroid, vestido que prepara cocktails, diseñado por The Modern Nomads. Imagen tomada de ¹²⁹.

PROPUESTA B

Bajo este concepto se desarrolla la segunda propuesta. En lugar de ocultar el cuerpo general del sensor, en esta propuesta se hace evidente al pasarlo por la cara visible del pabellón auricular.

El soporte del sensor inicia en la unión superior de la oreja con la cabeza, baja pegado a la cara hasta rodear al lóbulo en forma de U. En la cara interna cuenta con un desnivel el cual delimita el espacio donde inicia el lóbulo, este permite que el oxímetro se ajuste al lóbulo después de pasar el antitrágo. El LED se encuentra colocado en la parte superior de la U para disminuir la posibilidad de error en la lectura debido a una longitud del lóbulo menor a la posición del LED.

El soporte superior rodea la oreja para quedar en la parte posterior de la misma, al final de dicho soporte sale el cable, el cual además ayuda a mantener al oxímetro en su posición. El cable baja para conectarse al soporte del microcontrolador.



SOPORTE DEL MICROCONTROLADOR

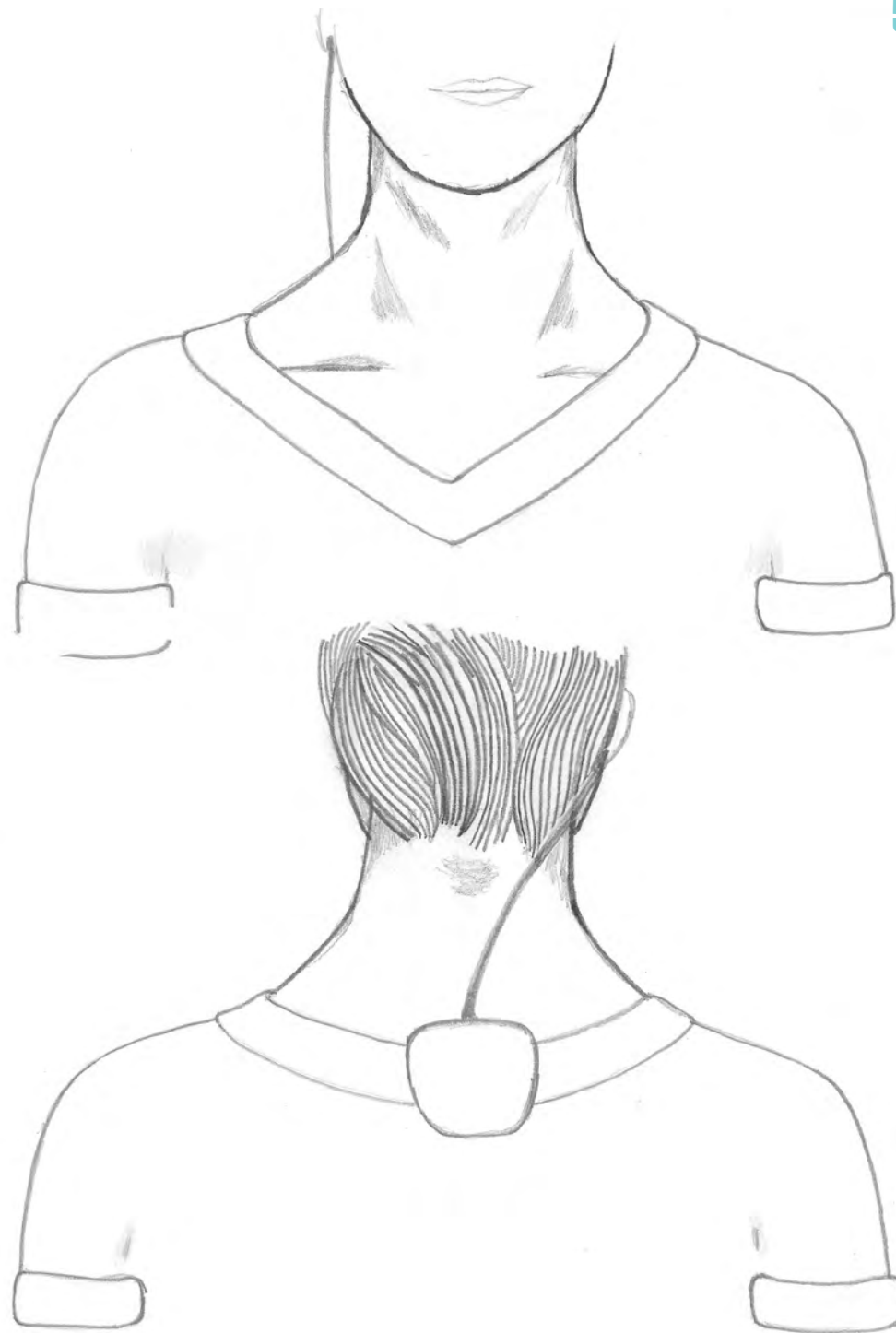
Ambos conceptos se aplican también al diseño del soporte del microcontrolador (SoM), se exploran las opciones en las cuales este pasa desapercibido y también para que esté a la vista de todos.

PROPUESTA A

La primer propuesta busca pasar desapercibido, consiste en un rectángulo con bisagra, el cual permite ser colocado en la parte posterior del cuello de la ropa del paciente, tal como se muestra en la imagen.

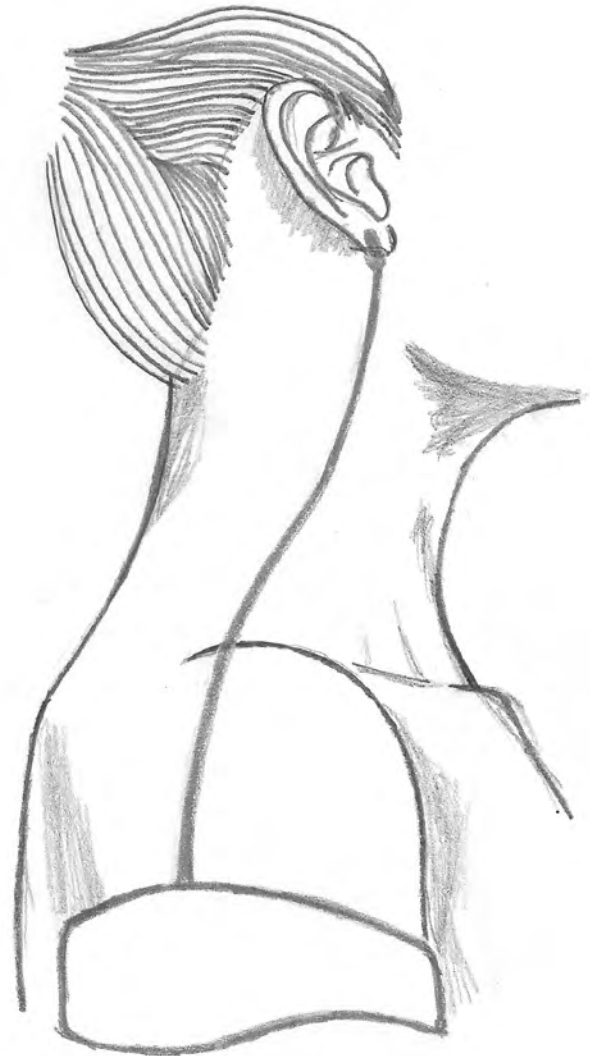
El cable baja del sensor hacia la parte posterior del cuello; contar con una bisagra brinda versatilidad al lugar donde se puede colocar el microcontrolador de manera que este pase desapercibido. En las imágenes que se muestran en ambas páginas se observa la forma principal en la cual se colocaría el SoM.

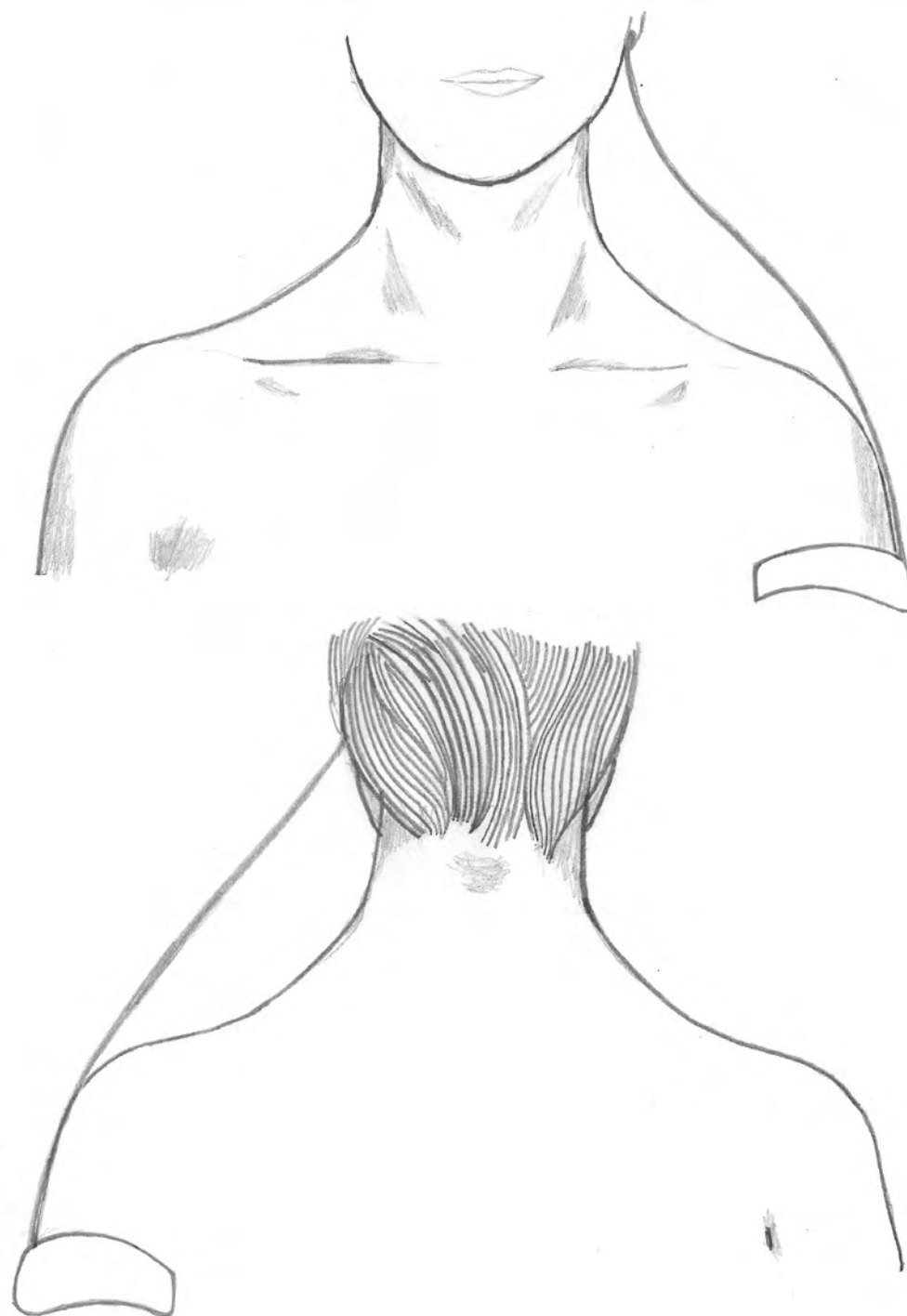




PROPUESTA B

Las siguientes dos propuestas están enfocadas a volver evidente al SoM, la primera se coloca en el antebrazo, es una pieza similar a un brazalete, ajustable. El microcontrolador se coloca en la zona exterior del soporte.

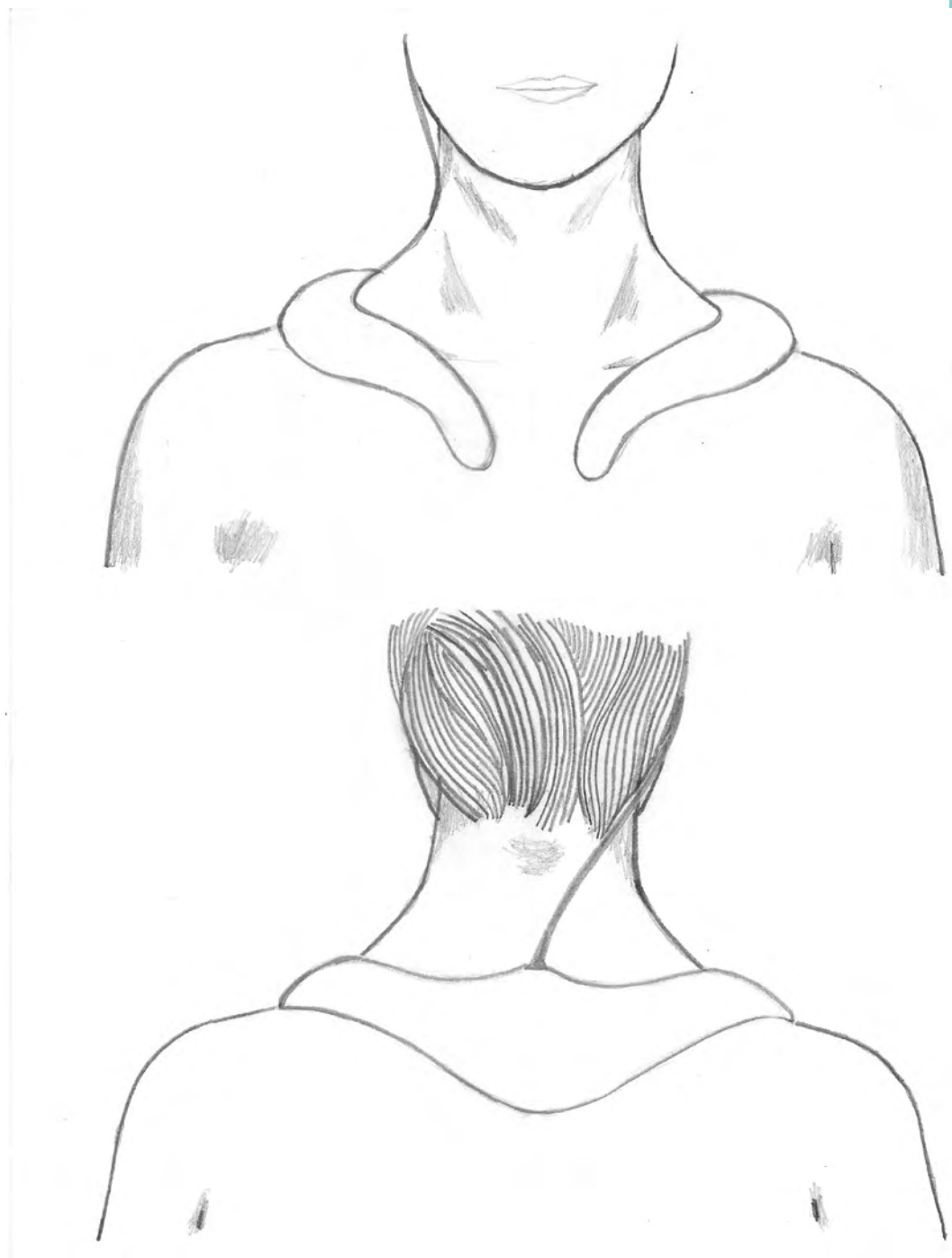




PROPUESTA C

La segunda propuesta es una pieza que se coloca alrededor del cuello, la abertura es la suficiente para que permita colocarse sin que exista la posibilidad que este caiga al realizar diversas actividades cotidianas. El microcontrolador se encuentra en la parte posterior del soporte.





5.8 SELECCIÓN DE CONCEPTO

Además de cuidar la salud, se busca integrar el oxímetro al mundo de los wearables, por lo tanto, el concepto Evidente se presenta como una mejor opción para lograr este objetivo. La configuración de esta propuesta aleja al oxímetro del ámbito médico y lo acerca al mundo de los wearables y la joyería, lo presenta como una opción distinta a los dispositivos médicos existentes en el mercado.

Para la propuesta final se buscará generar rasgos que vinculen al SoM con el sensor para crear la integración necesaria en los elementos de un objeto.

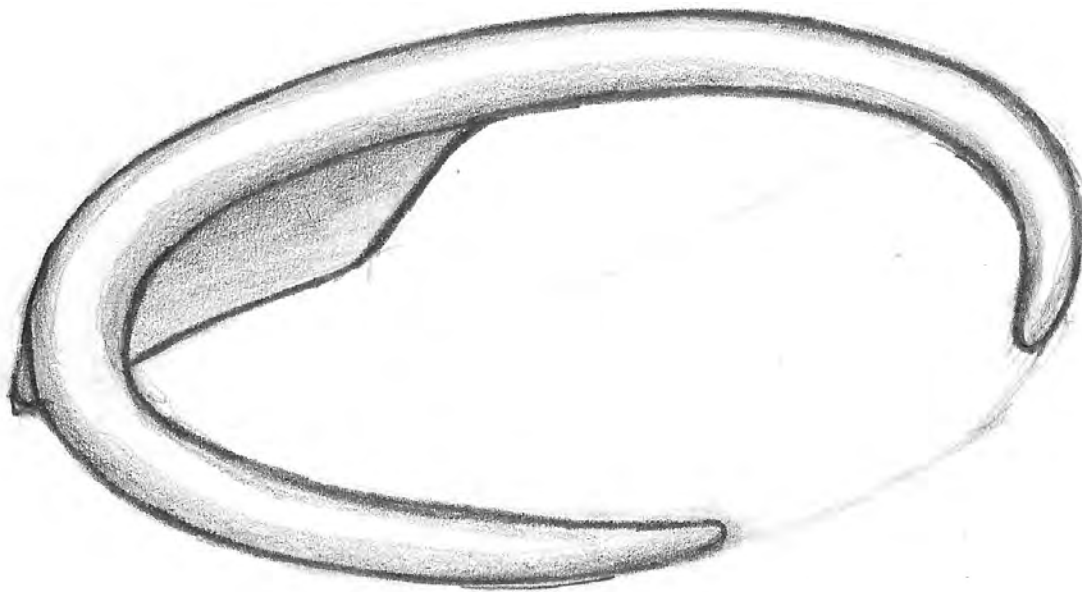
PROPUESTA FINAL

Se optó por una apariencia liviana en ambos componentes para que el usuario no tenga la sensación de que resultará molesto por el peso, esto se logra con un cambio de grosor en cada uno de los elementos, la zona más gruesa está definida por la ubicación de los EE. La parte más gruesa del sensor es aquella ubicada en el lóbulo pues necesita más espacio para la colocación de los LEDs y el fotodetector, además contar con más espacio alrededor de los mismos reduce la posibilidad de infiltración de un haz de luz externo que pueda alterar la lectura de la SpO_2 .

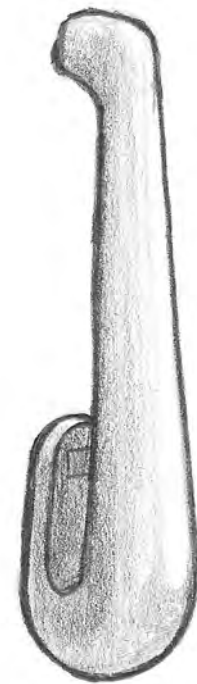
La parte superior del sensor es más angosta pues solamente servirá de soporte, además se debe considerar que posiblemente conviva con una cánula nasal si es que el paciente recibe terapia con oxígeno por este conducto, por lo tanto el soporte el oxímetro debe permitir la coexistencia de dichos elementos.

En el caso del SoM, la parte más ancha es donde se encuentra el microcontrolador, por sus dimensiones este queda suspendido en la parte superior de la espalda, se encuentra unido a una elipsoide con una sustracción en la parte frontal la cual sirve de soporte alrededor del cuello. El grosor va de mayor (en el microcontrolador) a menor (en las puntas de la elipsoide); las puntas se encuentran boleadas para que no lastimen el cuello del usuario al introducirlo.

5.9 PROPUESTA FINAL



SoM



Sensor

5.10 MORFOMETRÍA DE LA OREJA

Una vez definida la propuesta se procede a dimensionarla, para ello es necesario conocer los parámetros entre los cuales se encuentran las dimensiones de las orejas, por tal razón en esta sección se hablará sobre su morfometría.

“El pabellón auricular normal tiene una trayectoria vertical de alrededor de 6 cm, esta distancia equivale al espacio que separa el borde orbitario lateral de la raíz del hélix a la altura de la ceja. El ancho debe ser igual al 55% de la longitud. [...] El pabellón auricular típico tiene unos 6 cm de altura y entre 3 y 4 cm de ancho. Los pabellones auriculares normales suelen ser asimétricos en relación con su posición, su tamaño y su grado de protuberancia.”¹¹¹

Según el estudio *Asimetría, Lateralidad y Morfometría de la Oreja*(2015)¹³⁰, realizado por la Universidad de Celal Bayar, todas las mediciones realizadas en orejas izquierdas y derechas presentaron diferencias significativas en hombres y en mujeres, la longitud del lóbulo no presenta diferencias significativas entre ambos sexos. La longitud de la oreja presentó valores más altos en el pabellón del lado izquierdo.

De dicho estudio se retoman los valores de mayor utilidad para este proyecto, esas medidas son:

LONGITUD DE LA AURÍCULA (AL):

Distancia entre punto superior de la aurícula y el inferior del lóbulo en línea paralela a la base de la aurícula.

ANCHO DE LA AURÍCULA (AW):

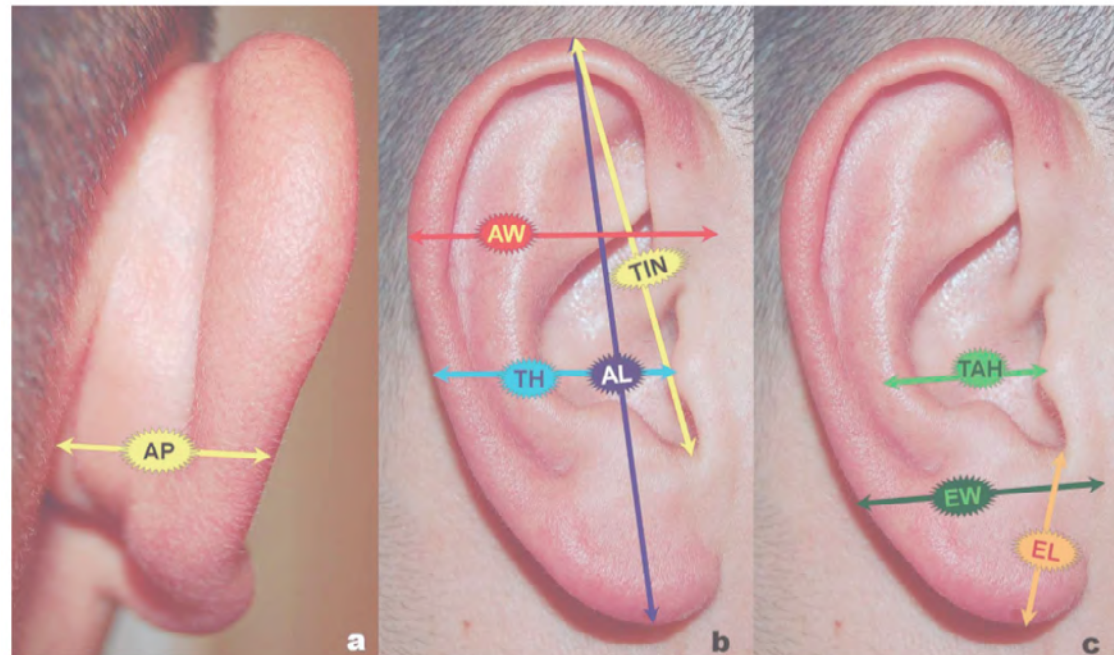
Distancia entre el punto más anterior y el más posterior de la aurícula.

ANCHO DE LÓBULO (EW):

La distancia entre el punto más anterior y más posterior del lóbulo.

LONGITUD DEL LÓBULO (EL):

Distancia entre el punto más inferior del lóbulo y el punto más profundo de la escotadura intertrágica.



Esquema de medidas recopiladas en el estudio Asimetría, Lateralidad y Morfometría¹³⁰.

En el estudio participaron 200 hombres y 200 mujeres de entre 18 y 26 años de edad. La estatura promedio en hombres fue 176.8250 ± 6.429 cm y el peso promedio fue 75.0950 ± 12.8571 kg. La estatura promedio en mujeres fue 163.0950 ± 5.5832 cm y el peso promedio fue 59.1450 ± 8.3740 kg. [Orejas]

Medidas de las orejas izquierdas y derechas de ambos sexos

Parámetro	Sexo del sujeto	Oreja derecha		Oreja izquierda	
		Media \pm D.E.	P*	Media \pm D.E.	P*
AL	Hombre	64.4650 \pm 3.4275	0.001	65.4900 \pm 3.4510	0.001
	Mujer	60.2950 \pm 3.1873		61.3300 \pm 3.1465	
TIN	Hombre	46.8600 \pm 2.8374	0.001	47.300 \pm 2.8088	0.001
	Mujer	44.0500 \pm 2.6443		44.2900 \pm 2.5708	
AW	Hombre	35.3250 \pm 3.1383	0.001	33.9600 \pm 3.3831	0.001
	Mujer	32.9650 \pm 2.8184		32.2850 \pm 2.8626	
TH	Hombre	27.1250 \pm 2.9467	0.001	25.6450 \pm 2.9754	0.001
	Mujer	25.5850 \pm 2.4439		24.1350 \pm 2.8719	
TAH	Hombre	21.3850 \pm 3.2028	0.001	19.6950 \pm 3.4014	0.016
	Mujer	20.2550 \pm 2.7160		18.6500 \pm 3.1793	
EW	Hombre	19.2150 \pm 3.3995	0.159	17.3300 \pm 3.2378	0.6
	Mujer	18.7300 \pm 3.4796		17.0750 \pm 3.1270	
EL	Hombre	18.4000 \pm 2.1148	0.001	18.3700 \pm 2.2379	0.048
	Mujer	17.3300 \pm 2.0103		17.3100 \pm 1.9346	
AP	Hombre	21.0550 \pm 2.4272	0.001	20.5850 \pm 2.4887	0.001
	Mujer	19.200 \pm 2.8231		18.700 \pm 2.5203	

*Ajustado por edad por análisis de covarianza

5.10.1 GROSOR DEL LÓBULO

Para esta tesis se realizó la medición del espesor del lóbulo de la oreja de 14 personas, 7 hombres y 7 mujeres, de entre 21 y 71 años de edad. La estatura promedio de los hombres fue 174 cm y el peso promedio fue 79 kg. La estatura promedio de las mujeres fue 160.7142 cm y el peso promedio fue 63 kg. El grosor promedio del lóbulo fue de 5.5 ± 0.89 mm.

Grosor del lóbulo				
Género	Edad	Estatura (m)	Peso (kg)	Grosor lóbulo (mm)
Femenino	71	1.50	74	4.5
Femenino	20	1.60	56	5
Femenino	24	1.55	60	4.5
Femenino	23	1.64	63	4.5
Femenino	21	1.76	59	4.5
Femenino	28	1.65	67	6
Femenino	46	1.55	62	4.3
Masculino	24	1.70	73	6.2
Masculino	30	1.69	80	7
Masculino	25	1.79	73	6.5
Masculino	54	1.72	102	6
Masculino	45	1.73	75	6
Masculino	24	1.70	60	6.5
Masculino	23	1.85	90	5.5

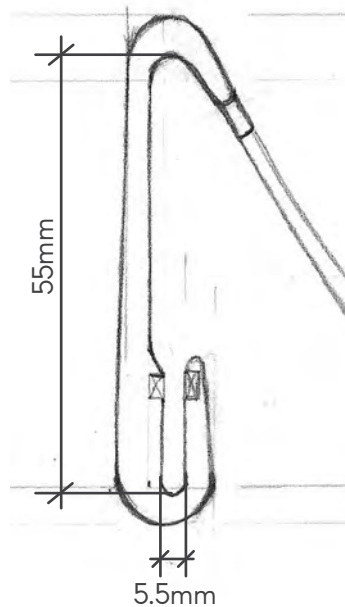
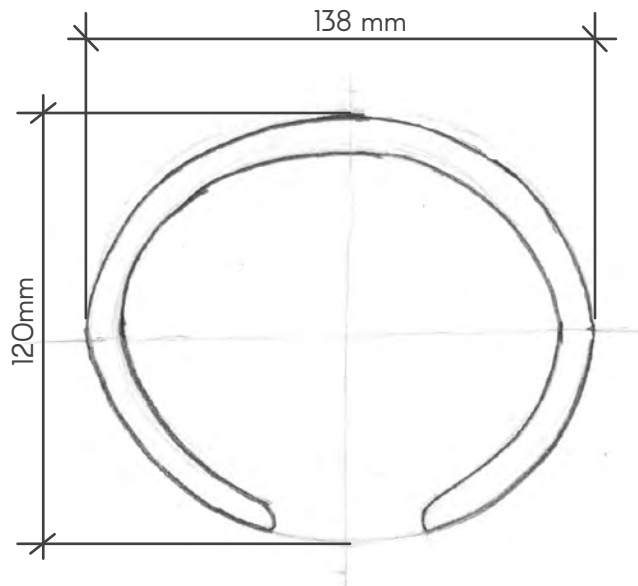
5.10.2 ANTROPOMETRÍA

Para poder dimensionar el SoM es necesario conocer las dimensiones promedio del cuello, como fuente para esta sección se utilizó el libro Dimensiones antropométricas de población latinoamericana¹³¹. Se tomaron los datos para el percentil 95 sobre el ancho del cuello en estudiantes de 18 a 25 años, en trabajadores industriales de 18 a 65 años y en ancianos de 60 a 90 años.

Mujeres			Hombres		
Grupo	Edad	Media ± D.E.	Grupo	Edad	Media ± D.E.
Estudiante	18	112 ±8	Estudiante	18	125 ±7
Estudiante	19 a 24	118 ±10	Estudiante	19 a 24	129 ±9
Trabajadora Ind.	18 a 65	123 ±7.9	Trabajador Ind.	18 a 65	122 ±7.94
Anciana	60 a 90	124 ±9	Anciano	60 a 90	128 ±8.9

- Media mínima
- Media máxima

Las medidas elegidas presentan una diferencia de 13 mm, se considerará la media mínima y la media máxima como puntos de referencia; para poder incluir al mayor número de personas en el primer modelo, la medida base elegida será la media máxima.

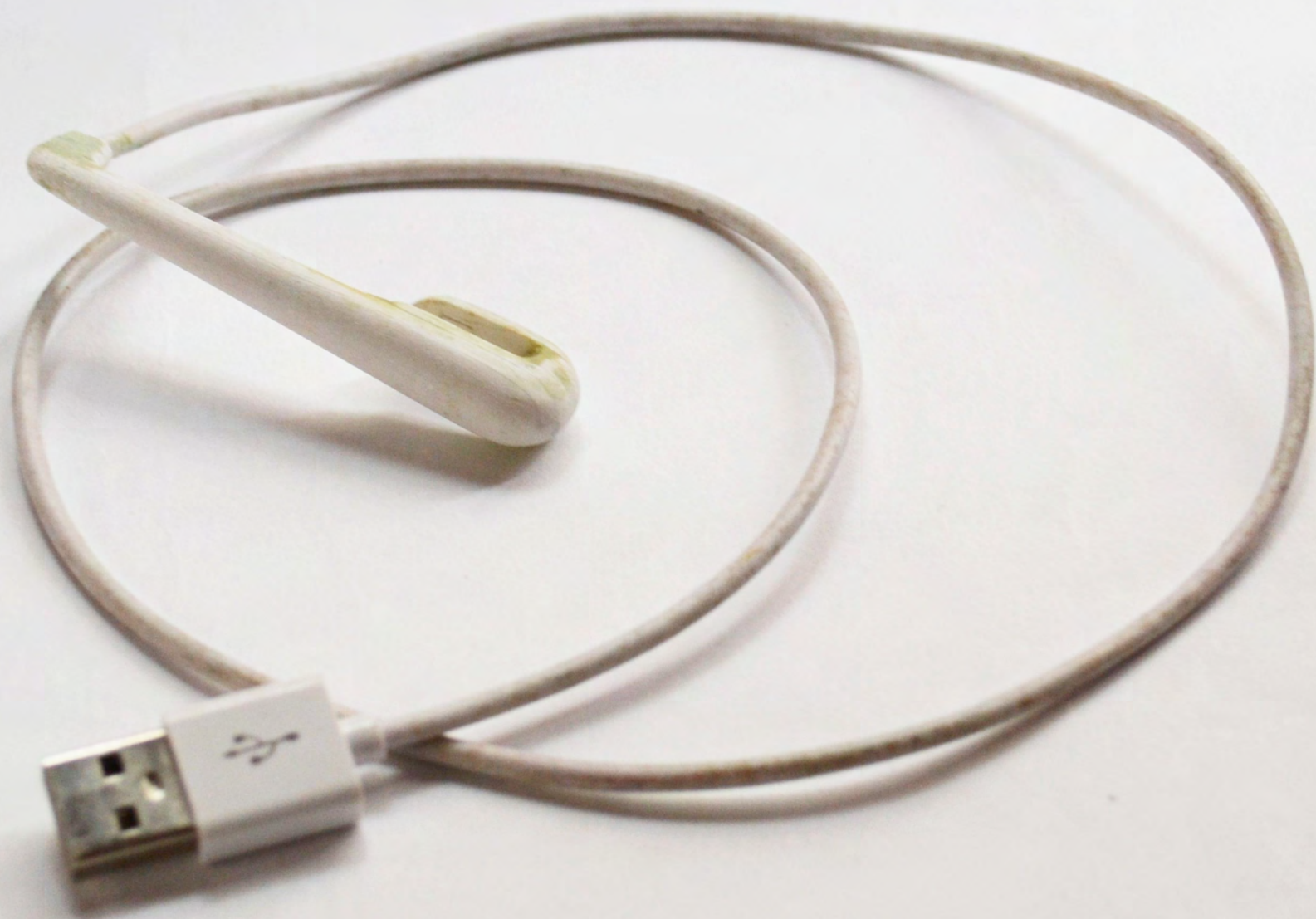


5.11 DIMENSIONAMIENTO

Para generar un mejor ajuste al cuello, el soporte del microcontrolador se elaborará con base en una elipse, para definir sus dimensiones se usará la diferencia estandar de la media máxima. Por lo tanto, la medida del eje horizontal será 138 mm, mientras que la medida del eje vertical será de 120mm.

Respecto a la dimensión del sensor, previamente se mencionó que una oreja normal suele tener una trayectoria vertical de 6 cm, esta medida va de la parte inferior del lóbulo al punto más alto de la oreja, sin embargo el oxímetro, para buscar una mejor sujeción, se colocará pegado a la cara, teniendo soporte en la unión superior de la oreja con la cabeza y rodeando al lóbulo en su unión con la cabeza. Para la realización del primer modelo se quitarán 5mm a la medida regular de la longitud de la aurícula, por lo que la cara interna del sensor medirá 5.5 cm.

Para dar un espacio adecuado para la colocación de los LEDs y el fotodetector, la parte inferior del sensor tendrá 1 cm de ancho. La abertura para el lóbulo medirá 5.5 mm.



5.12.1 SENSOR

El sensor para la oreja se soporta en el lóbulo y en la unión superior de la oreja con la cabeza. La SpO_2 es medida en el lóbulo por lo tanto, en esta zona del sensor se colocarán los LEDs y el fotodetector.

El modelo se realizó en PVC espumado y se colocó un cable con una distancia no específica, no se unió al SoM para poder hacer pruebas relativas a la distancia del cable y elegir la que más se adecuara a la población según los resultados observados.





5.12.1 SOPORTE DEL MICROCONTROLADOR (SoM)

El SoM es una estructura semiflexible que permite su colocación alrededor del cuello. En la parte posterior se encuentra el espacio para el microcontrolador y la batería.



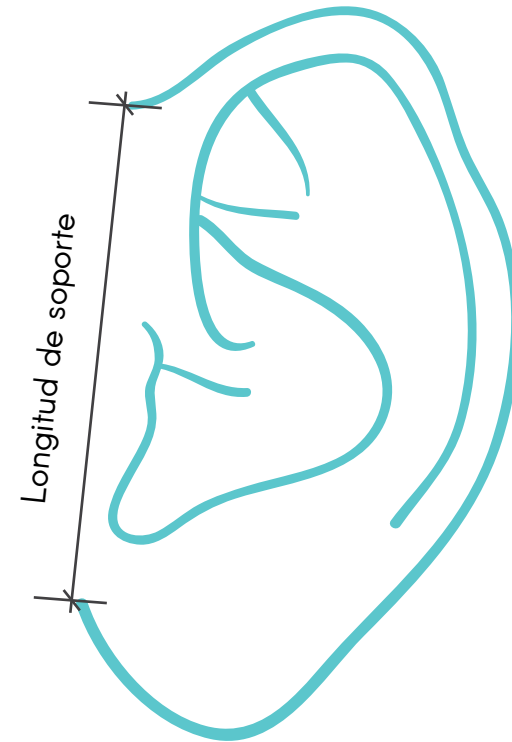
5.13 EVALUACIÓN DEL MODELO

Ya con el modelo listo se procedió a realizar pruebas en distintas personas con el fin de poder observar fallas y resolver dudas.

Los datos recopilados en esta evaluación fueron: peso, estatura, edad, longitud de la unión inferior de la oreja (lóbulo) a la unión superior (longitud de soporte), tanto de la oreja derecha como de la izquierda, profundidad del cuello y distancia del cable. A continuación se describe la utilidad de cada una de dichas dimensiones.

Se evaluó el modelo en 14 personas, 8 mujeres y 6 hombres, todos mayores de 18 años, con una edad promedio de 42.25 ± 21.94 y 45.5 ± 20.006 años respectivamente; una estatura promedio de 1.58 ± 0.0655 m para mujeres y 1.73 ± 0.1825 m para hombres; y un peso promedio de 62.5 ± 8.2764 kg para mujeres y 89.334 ± 19.8855 kg para hombres.

Cinco de las mujeres pudieron colocarse el sensor sin problemas mientras que ninguno de los hombres lo logró. Para dos de los hombres el soporte del microcontrolador (SoM) resultó muy pequeño, todas las mujeres pudieron colocarlo exitosamente.



Dimensión evaluada con el modelo, de la unión inferior con la cabeza a la unión superior de la cabeza.

La tabla mostrada a continuación contiene los datos obtenidos durante las pruebas con el modelo, los cuales sustentan las medidas elegidas para las dimensiones finales.

Evaluación con el modelo				
Longitud de soporte				
Género	Oreja Derecha	Oreja Izquierda	Distancia cable	Profundidad cuello
Femenino	6	6	21	10
Femenino	5	5	25	10.2
Femenino	5.6	5.6	25	12
Femenino	5.8	6	25	13
Femenino	5.5	5.5	22	11.5
Femenino	4.8	4.8	20	9
Femenino	6	6	21	12
Femenino	5.3	5.3	21	10
Masculino	6	6	20.5	14
Masculino	5.7	5.8	24.5	12.5
Masculino	6	6.5	22	12
Masculino	5.5	5.5	24.3	11
Masculino	6	6	21.5	16
Masculino	6.5	6.6	21	13
Media ± D.E.				
General	5.6928±0.4358	5.5428±1.6327	22.414±1.5585	11.8700±1.7724
Mujeres	5.5000±0.4153	5.5250±0.4380	22.500±2.0000	10.9625±1.2688
Hombres	5.9500±0.3095	6.0600±0.4758	22.300±0.5307	13.0800±1.6192

Todas las medidas que aparecen en esta tabla se encuentran en cm

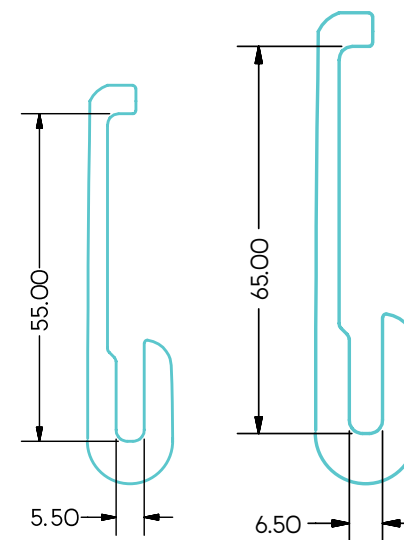
5.14 DIMENSIONES FINALES

5.14.1 SENSOR

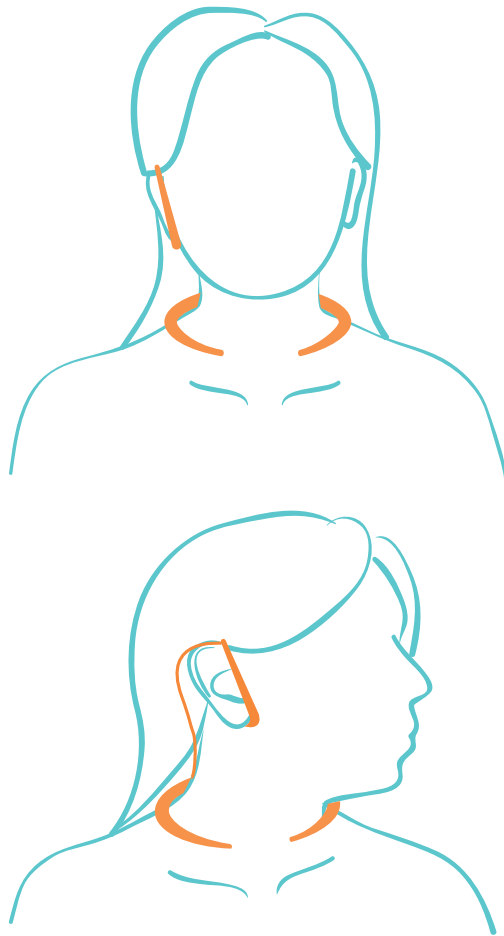
Uno de los factores principales por el cual los usuarios no lograron colocarse el sensor fue el grosor del lóbulo (GL). Pese a que se había considerado una dimensión media para el diseño del sensor, personas con un GL mayor a 5.6 mm no lograron colocarlo. Del total de evaluados inicialmente, siete poseen un GL igual o mayor que 6 mm, por esta razón se propone que existan dos tamaños para el sensor, el pequeño cuyo espacio para el lóbulo sería de 5.5mm y el grande, cuyo espacio para el lóbulo sería de 6.5 mm.

Otro factor que no permitió la colocación del sensor fue la longitud del lóbulo a la unión superior con la cabeza (o longitud de soporte), por esa razón se midió dicha distancia en los usuarios en los que se probó el oxímetro. En las mujeres la media fue 5.5 ± 0.4153 cm para la oreja derecha y 5.525 ± 0.4380 cm para la oreja izquierda, mientras que en los hombres la media de la oreja derecha fue de 5.95 ± 0.3095 cm y para la oreja izquierda fue de 6.06 ± 0.4758 cm.

En dichos resultados se observa una variación de aproximadamente medio centímetro entre hombres y mujeres que, aunque pudiera parecer irrelevante, al realizar las pruebas se observó que esto es suficiente para impedir la colocación del sensor. Se propone también la existencia de dos longitudes de soporte base para el sensor, estas serán de 5.5 cm para el pequeño y 6.5 cm para el grande.



5.14.2 LONGITUD DEL CABLE



Las pruebas con el modelo se usaron también para determinar la dimensión adecuada para el cable, para obtener esta medida se siguieron pasos específicos:

- Se colocó el sensor en la oreja derecha del usuario y el SoM en el cuello.
- Se pidió a la persona que, sin mover los hombros, rotara la cabeza lo más que pudiera hacia su lado izquierdo.
- Una vez en esta posición, se midió la longitud del cable colocado en el sensor hasta la mitad del SoM.

La dimensión media obtenida con este análisis fue de 22.4 cm, sin embargo si se eligiera esta medida como la adecuada para el cable, se limitaría el movimiento para aquellas personas con un mayor grado de movilidad, por lo tanto se elegirá la distancia más grande, lo cual define la longitud del cable del sensor al SoM como 25cm.

5.14.3 SoM

Otra dimensión que se evaluó fue la profundidad de cuello ya que en los datos obtenidos del libro Dimensiones antropométricas de población latinoamericana, sólo se evalúa el ancho del cuello.

El soporte no pudo ser colocado en dos personas, ambos de género masculino, uno de ellos mayor de 65 años con estatura de 1.70 m, mientras que el otro presenta obesidad, la profundidad de sus cuellos es de 14 y 16 cm respectivamente. Independientemente del resto de sus características físicas, ambos poseen una profundidad de cuello mayor a la media, lo que ocasiona que el SoM pueda resultarles molesto e inclusive lastimarlos.

Para aumentar la cantidad de personas que pueden usarlo se propone la existencia de un tamaño estándar y la posibilidad de imprimir el SoM en caso de que el ancho del cuello del paciente rebase las dimensiones establecidas, para este caso, el personal tomará las medidas del ancho y la profundidad del cuello del usuario.

— Grosor del cuello



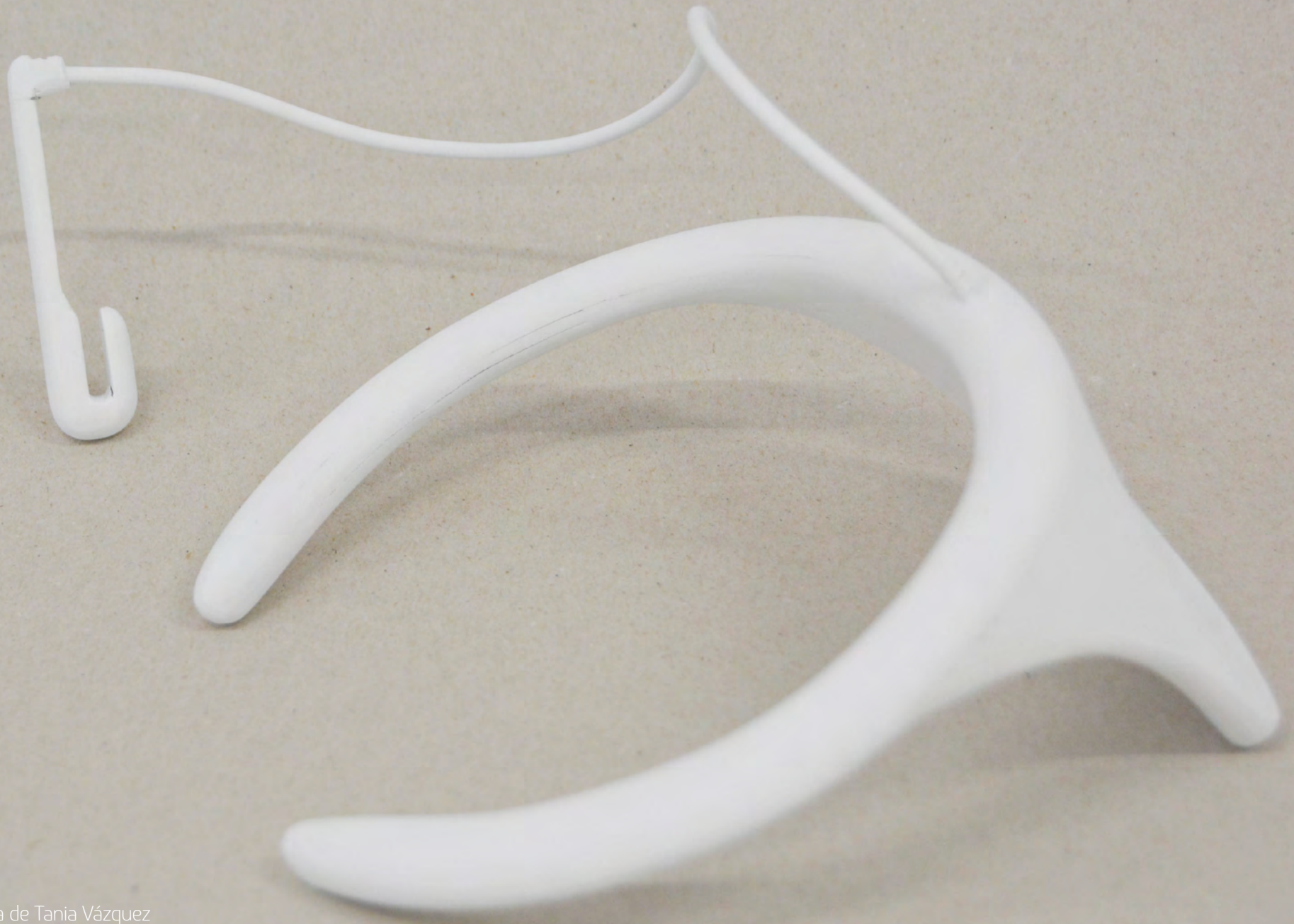
Esquema comparativo entre el grosor del cuello de la misma persona al presentar sobrepeso y peso normal. Imagen obtenida de ¹³².

Modelo con versión final del oxímetro de pulso. El oxímetro empleado para las fotografías posee las dimensiones del tamaño pequeño.





| Vista lateral del oxímetro en uso.



5.15 Memoria descriptiva



El oxímetro esta compuesto por dos elementos generales: el sensor y el SoM, conectados por un cable. A continuación se hablará detalladamente de cada uno de los elementos que lo componen, su función, su producción, ergonomía y estética del objeto.

5.15.1 FUNCIÓN

SENSOR

El sensor está elaborado en forma de gancho, se optó por esta configuración para evitar las lesiones generadas por los oxímetros de pulso de bisagra. El cable sale de la parte superior del sensor y baja por la parte posterior de la oreja, la forma que sigue el cable disminuye la posibilidad de estrangulamiento pues no tiene curvas cerradas; esta posición también permite asegurar la postura del sensor.

LECTURA SpO_2

Para permitir la correcta lectura de la SpO_2 , la superficie alrededor de los LEDs y el fotodetector es mayor que en el resto del sensor, esto limita el paso de luz exterior hacia el fotodetector y no altera la medición de la SpO_2 .



La cara frontal del sensor cuenta con una pequeña ranura, cuando la batería está por agotarse (al quedar 15%), esta abertura se torna de color rojo, de este modo el usuario puede saber que la batería del oxímetro está por agotarse y debe ser recargado pronto. De igual manera enviará una alerta al teléfono inteligente para que el usuario sepa que debe recargar la batería del oxímetro. Mientras la batería se esté recargando, la intensidad del color rojo irá disminuyendo, al llegar al 100% de carga el indicador prenderá en verde, al desconectarlo este pasará a ser blanco nuevamente.



Batería $\leq 15\%$
de carga



Disminución en
la intensidad
del color rojo



Indicador al
estar cargado
al 100%



El indicador se
encuentra apagado si
la batería posee más
de 15% de carga

CARGA

El oxímetro se cargará con un cable mini-USB, se eligió este tipo de cable pues en caso de perder el cable del oxímetro se podrá cargar con el cable usado en la mayoría de teléfonos inteligentes. Se optó por un cable con USB para poder conectarlo a la computadora de manera alámbrica y transferir datos a dicho dispositivo. La conexión para la carga se encuentra colocada a un costado del botón de encendido, en un costado del contenedor del microcontrolador.



SoM

La forma del SoM permite colocarlo alrededor del cuello. Por su configuración y la distribución de los elementos, el SoM tiende a colgarse hacia atrás si el usuario se agacha, para contrarrestar esta acción, se colocaron dos pesos metálicos en las puntas del SoM, estos generan contrapeso al microcontrolador y evitan el desplazamiento hacia atrás.

Para poder encender el oxímetro se incluyó un botón de encendido/apagado en la escotadura entre las puntas del soporte y el contenedor del microcontrolador. El botón se encuentra colocado al lado derecho del SoM pues aproximadamente el 90%¹³⁴ de la población mundial es diestra, sin embargo la posición también permite prenderlo con la otra mano.

El cable que conecta al sensor con el SoM se encuentra ubicado a la mitad del soporte para permitir el uso del sensor en cualquiera de las dos orejas. La longitud del cable permite mirar en todas las direcciones posibles sin limitación de movimiento.

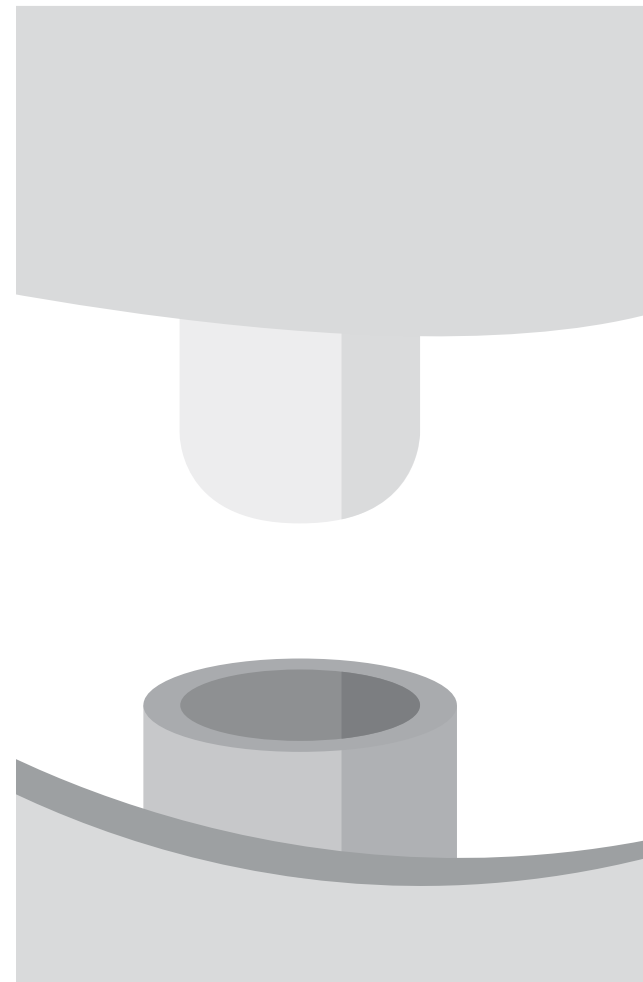


Al buscar generar un oxímetro de pulso de bajo costo, es necesario considerar la vida posterior a la compra, esto implica tomar en cuenta consideraciones respecto a alargar la vida del producto. Se tomaron dos decisiones básicas para la vida del oxímetro, la primera es que se pueda reparar y la segunda es que se puedan reciclar los componentes una vez que la persona no lo usará más.

Para poder llevar a cabo ambos puntos es importante considerar las actividades que debe realizar el técnico que reparará el oxímetro, la principal de estas actividades es poder abrir las piezas.

CIERRE DE PIEZAS

Para que las piezas del oxímetro se puedan abrir, será necesario no cerrarlas definitivamente, por esto métodos como la soldadura ultrasónica no serían útiles. Se propone que tanto las piezas del sensor como las del SoM sean cerradas mediante pivotes de machimbrado como el que se puede observar en el esquema de la derecha. Cada uno de los elementos contará con una ranura que permitirá, mediante el uso de la herramienta adecuada, abrir cada las piezas y poder realizar las reparaciones pertinentes.



RECICLADO¹³⁵

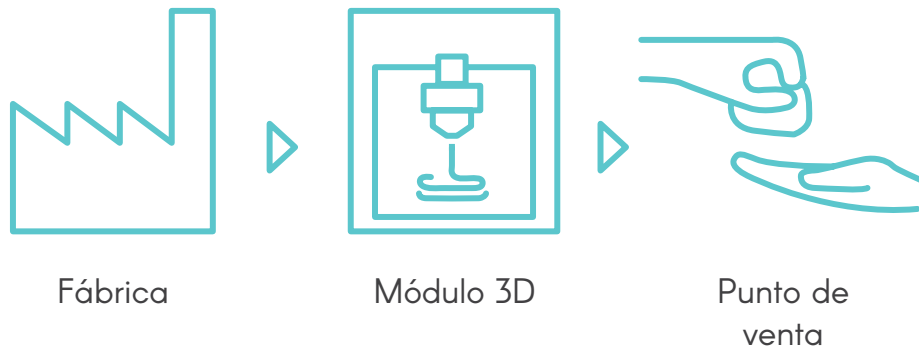
El oxímetro estará producido en ABS, este es un material que es posible reciclar, los productores de ABS recomiendan reciclarlo mediante:

- Reciclado mecánico, esto para piezas moldeadas solas que no estuvieron en contacto con sustancias peligrosas.
- Reciclado termoquímico, para aquellas piezas que estuvieron en contacto con sustancias peligrosas.

Se considera la opción de reciclado mecánico pues el oxímetro no entrará en contacto con sustancias peligrosas. Para poder retirar los elementos electrónicos antes de realizar el reciclado se ha considerado que el cerrado de las piezas se realice mediante machimbrado.

5.15.2 DINÁMICA PRODUCTIVA

La producción-venta del oxímetro está planteada en tres etapas. La primera se desarrolla en la fábrica, aquí se producirá el SoM y los Elementos Electrónicos; la segunda etapa se lleva a cabo en el Módulo 3D (M3D), en este lugar se realizará la impresión de los sensores, se terminará de ensamblar el oxímetro y se enviará al sitio de la tercer etapa: el punto de venta, en esta sección se describirá más detalladamente el desarrollo de cada una de las etapas.



FÁBRICA

La fábrica posee equipo necesario para realizar el proceso de inyección de plásticos, aquí se recibirá el ABS en forma de pellets y será procesado para la inyección de las tres piezas plásticas del SoM. De igual manera en esta etapa se realizará el ensamblado del microcontrolador y todos los elementos necesarios para hacer funcionar al oxímetro, los lineamientos para la fabricación de los EE serán aquellos dictaminados por el equipo de ciencias. Otra pieza producida en este lugar serán las piezas metálicas que servirán de contrapeso al microcontrolador.

Una vez listas todas y cada una de las piezas se procederá a su ensamble. Ya armado el SoM este es enviado al Módulo 3D.

MÓDULO 3D (M3D)

En este espacio se lleva a cabo la interacción entre los elementos producidos en la fábrica y la información obtenida de los pacientes.

Al existir una variedad tan amplia en las dimensiones de las orejas es necesario la existencia de versatilidad en el objeto, esta versatilidad será brindada en la etapa productiva, específicamente en el M3D. Para facilitar la adaptación del oxímetro al paciente se generaron dos dimensiones distintas del sensor, sin embargo siempre existe la posibilidad de orejas más grandes o más pequeñas que las dimensiones estándar.

Al considerar estos casos se propone la impresión 3D para la fabricación de los sensores pues este método de producción permite ajustar las dimensiones de

los objetos con un menor gasto que el que implica producir un nuevo molde para la impresión de solo un sensor.

Ante esta necesidad de adaptabilidad se propone que en el M3D se cuente con tres archivos, el primero será el del sensor de tamaño pequeño, el segundo el del sensor de tamaño grande y finalmente el tercer archivo será el destinado a modificación, de este modo no se pondrá en peligro las dimensiones de los otros dos archivos.

En el M3D se recibirá los datos del pedido realizado en el punto de venta, estos datos pueden ser que el sensor será pequeño, grande o que requerirá alguna modificación. En caso de que el tamaño solicitado sea alguno de los archivos definidos, se procederá a imprimir.

En caso de que el pedido implique la modificación del archivo, el personal previamente capacitado, procederá a modificar el archivo con el GL y la longitud de soporte pedido para ese paciente, una vez listo se mandará a imprimir. Una vez impreso el sensor se procederá a retirar el material de soporte y se colocarán los EE para posteriormente sellarlo, ya que este proceso esté completado el oxímetro se enviará al punto de venta.

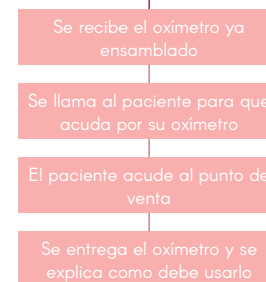
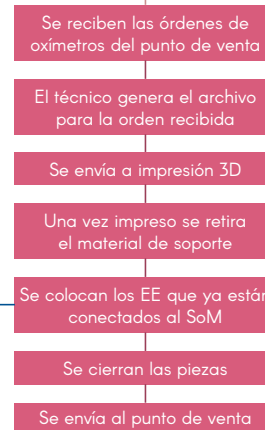
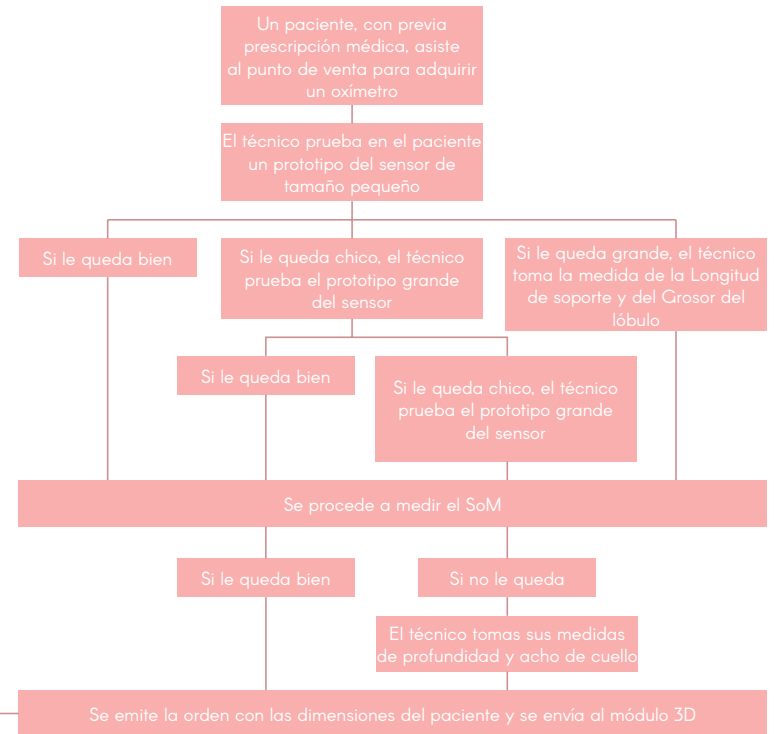
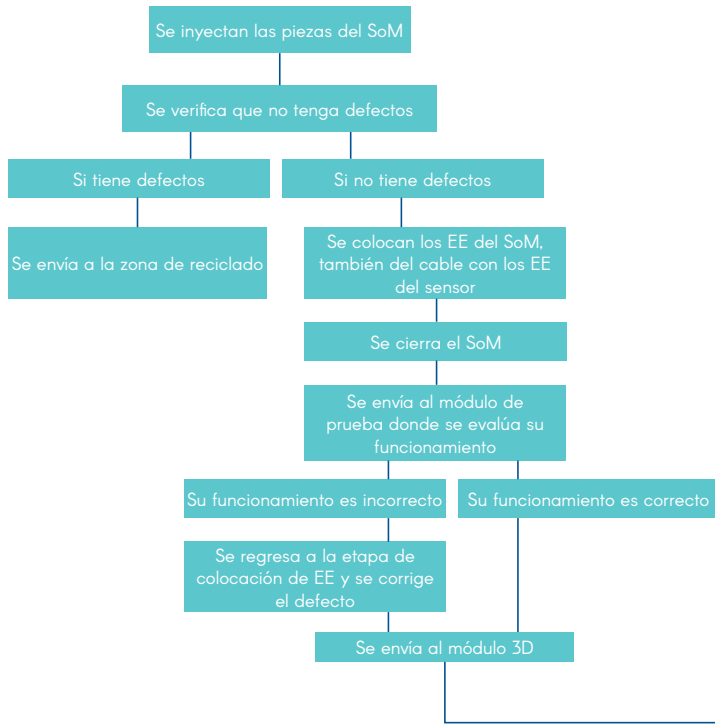
PUNTO DE VENTA

El punto de venta interviene en dos etapas del proceso general, en la intermedia, cuando el usuario solicita un oxímetro de pulso y en la final, cuando se hace entrega del dispositivo al cliente. Este proceso no se puede considerar una sola etapa debido a que por el sistema productivo, los sensores sólo se producen ante la solicitud de los mismos, esto reduce gastos en desperdicio de material y asegura que el oxímetro se ajuste al usuario.

La primera etapa en la que interviene surge cuando el usuario se presenta al punto de venta a solicitar un oxímetro de pulso para uso prolongado, en ese momento el encargado procederá a medir un prototipo de los sensores, tanto pequeño como grande, en caso de que ninguno se ajuste a la oreja del usuario, el encargado medirá el grosor del lóbulo (GL) del usuario y la longitud del soporte adecuada para ese paciente. Una vez recolectados estos datos se procederá a llenar la solicitud de oxímetro con los datos específicos del paciente, esta será enviada al M3D.

La segunda etapa en la cual se involucra el punto de venta es cuando el oxímetro ya completó las otras dos etapas productivas y se encuentra listo para ser entregado al usuario. Una vez concluida la etapa productiva en el M3D, el oxímetro es enviado al punto de venta con el número de orden del usuario para el cual se produjo. Al llegar a la tienda, el comprador es llamado para poder recoger su oxímetro, ya que el usuario asiste al punto de venta se realiza la entrega de su oxímetro, se realiza una explicación precisa de como debe usar el producto y se pide que lo coloque para resolver cualquier duda que se presente.

DIAGRAMA DE PROCESOS



Fábrica



Módulo 3D



Punto de venta

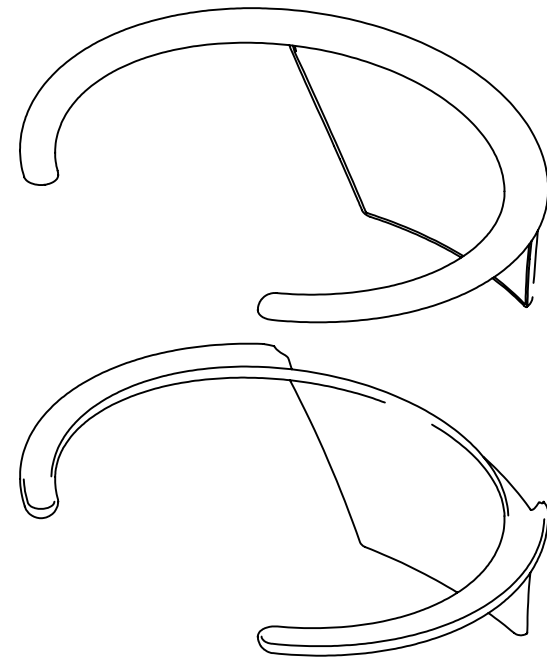
5.15.3 FABRICACIÓN

SoM

El soporte del microcontrolador está compuesto por seis elementos: dos piezas plásticas, dos pesos metálicos, y los EE (microcontrolador, batería, botón de encendido y puerto de carga). Las piezas plásticas son la superior (SoM-A) y la inferior (SoM-B), serán producidas en inyección de ABS, para cada una de ellas se emplearán moldes de dos piezas.

Las piezas metálicas poseen forma de gota, la mayor concentración de peso se encontrará colocada hacia la punta del SoM. Estas piezas serán producidas en hierro mediante spin-casting; el peso de cada una de ellas será de 25g.

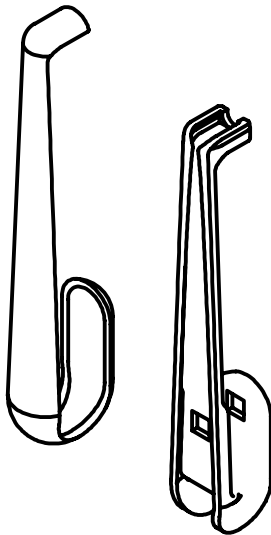
Los EE se colocarán en la pieza superior, serán fijados mediante costillas ubicadas en el SoM; el cable que conecta el microcontrolador con el sensor pasará por el orificio que se encuentra a la mitad del soporte del SoM; en la pieza inferior se colocarán los contrapesos metálicos. Una vez fijados todos los elementos se procederá a cerrar el SoM.



| Piezas SoM-A (arriba) y SoM-B (abajo).

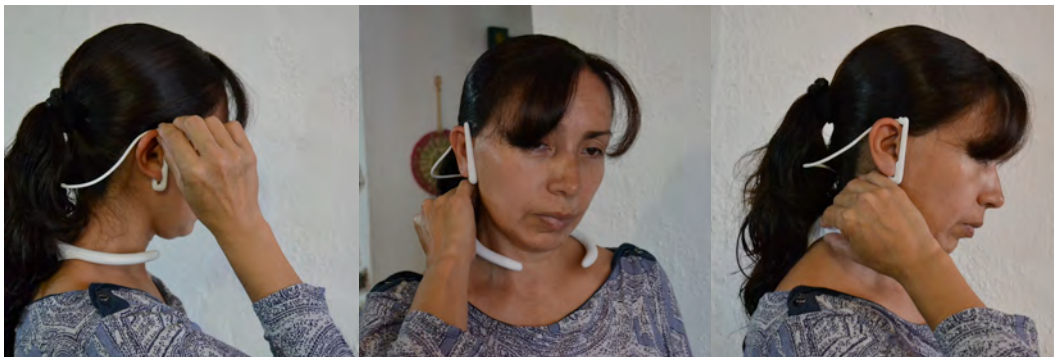
SENSOR

El sensor está compuesto por tres piezas, dos plásticas y el EE correspondiente. Las piezas plásticas son la exterior (Sensor-A) y la interior (Sensor-B)), ambas se producen en impresión 3D en ABS. Existen dos tamaños, pequeño y grande, de los cuales se habló previamente en este documento; en caso de que la oreja del paciente no quede en ninguno de los sensores previamente mencionados, se medirá la longitud de soporte y el grosor del lóbulo de ese usuario para ajustar el archivo y posteriormente imprimir el sensor.



Una vez impresos se procede a retirar el material de soporte y a colocar los LEDs y el fotodetector, los cuales integran el EE del sensor. El EE se sujeta directamente a la pieza interior del sensor, en la cara posterior del lóbulo se coloca el fotodetector mientras que en la frontal se colocan los LEDs, el cable asciende por el soporte del sensor y sale hacia la parte posterior de la oreja. Una vez sujetado el EE a la pieza interior, se coloca la cara exterior del sensor y es sellado mediante pivotes de machimbrado. Una vez cerrado, el oxímetro está listo para ser entregado al usuario.

5.15.4 SECUENCIA DE USO



Los pasos que deberá seguir el usuario para colocar el oxímetro son:

- Colocar el SoM en el cuello con la apertura hacia el frente.
- Pasar el cable del sensor sobre la oreja
- Introducir el lóbulo en la ranura del sensor
- Pegar el sensor hacia la cara y acomodar la parte superior del mismo
- Presionar el botón de encendido

Para dormir o para poner a cargar el oxímetro se siguen los siguientes pasos:

- Se mueve la parte superior del sensor para alejarlo de la cara
- Se suelta del lóbulo de la oreja
- Se retira el SoM
- Se presiona el botón de apagado
- En caso de ponerlo a cargar se conecta el cable en el puerto de carga y se conecta a corriente hasta que el indicador prenda en color verde.

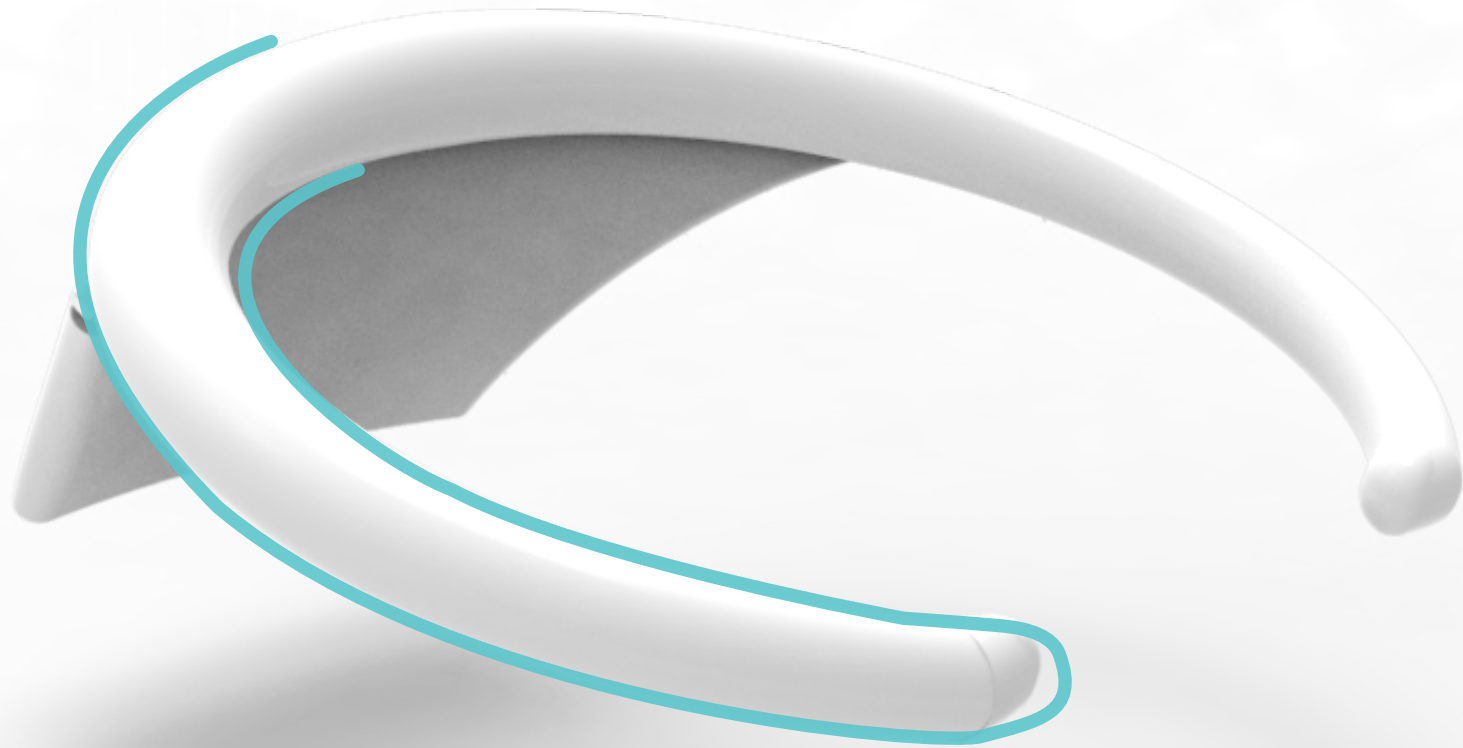


5.15.5 ESTÉTICA

El concepto general que se empleó para el diseño del oxímetro fue Evidente, por esta razón se busca hacer visibles los elementos del dispositivo. Para los rasgos finales que lo caracterizan se buscó crear una sensación de ligereza, por esta razón se juega con distintos grosores en ambos elementos.

Los grosores también se ajustan a requerimientos funcionales, principalmente en el sensor, como ya se mencionó previamente, posee un área más ancha para permitir la colocación de los EE y su correcto funcionamiento, más adelante se adelgaza para permitir la interacción con las cánulas nasales usadas en la oxigenoterapia.





5.17 FODA

FORTALEZAS

Permite portarlo a lo largo del día. Permite al usuario realizar sus tareas cotidianas. Posee batería recargable. Existe interés por parte del INER(Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias). Menor tamaño y peso respecto a otros oxímetros de pulso portátiles de uso prolongado.

OPORTUNIDADES

Realizar una propuesta o un segundo modelo que permita usarlo durante la noche. Desarrollar la app para completar el uso del producto. Disminuir las dimensiones del objeto mediante el uso de tecnología de menores dimensiones.

DEBILIDADES

El constante desarrollo de la tecnología puede generar propuestas para uso prolongado de menor tamaño antes que el equipo original, principalmente por la inversión de capital necesaria.

AMENAZAS

Desarrollo de un oxímetro de uso prolongado de menor costo por parte de la competencia, empleando materiales de menor costo y de menor calidad.

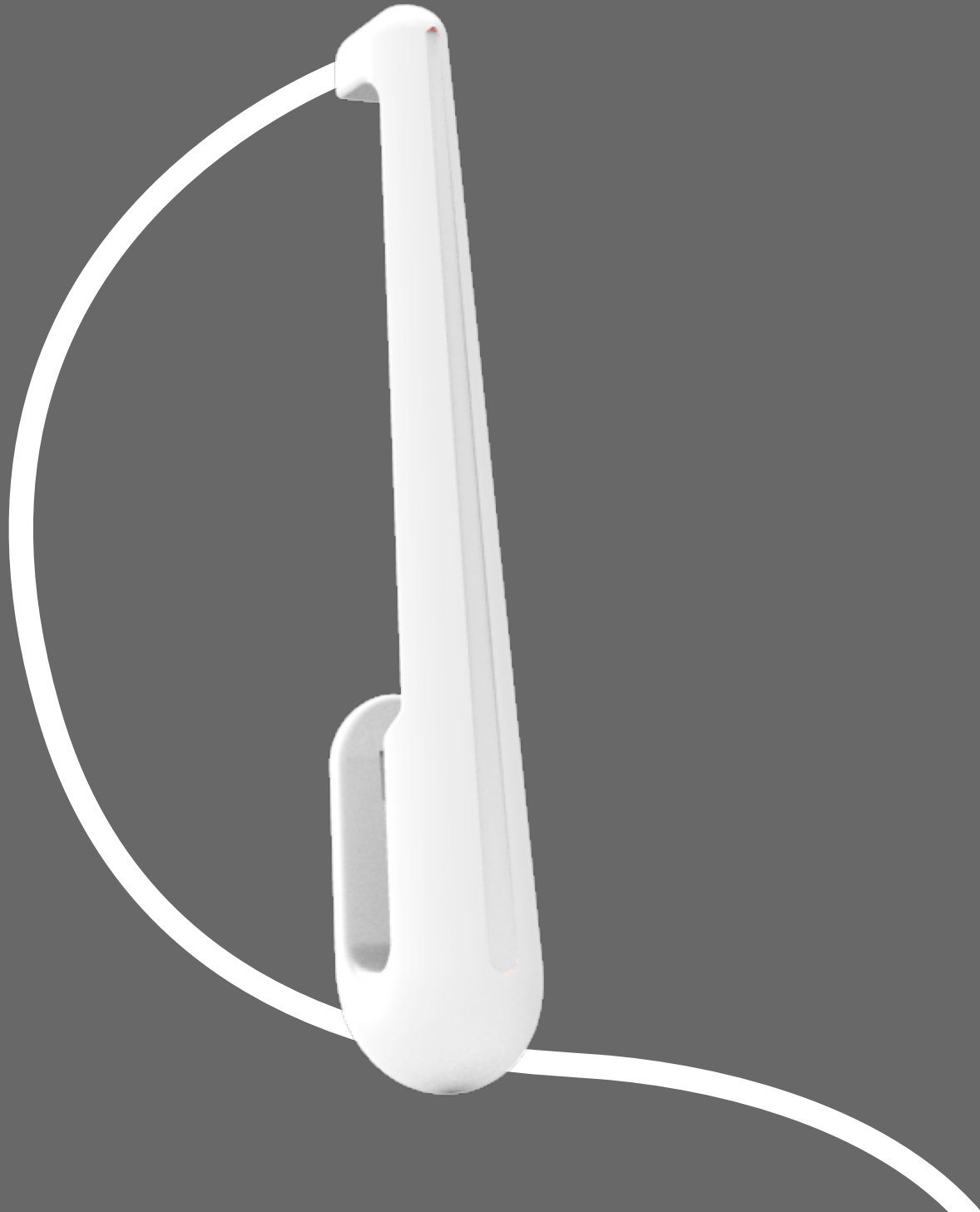
Renders



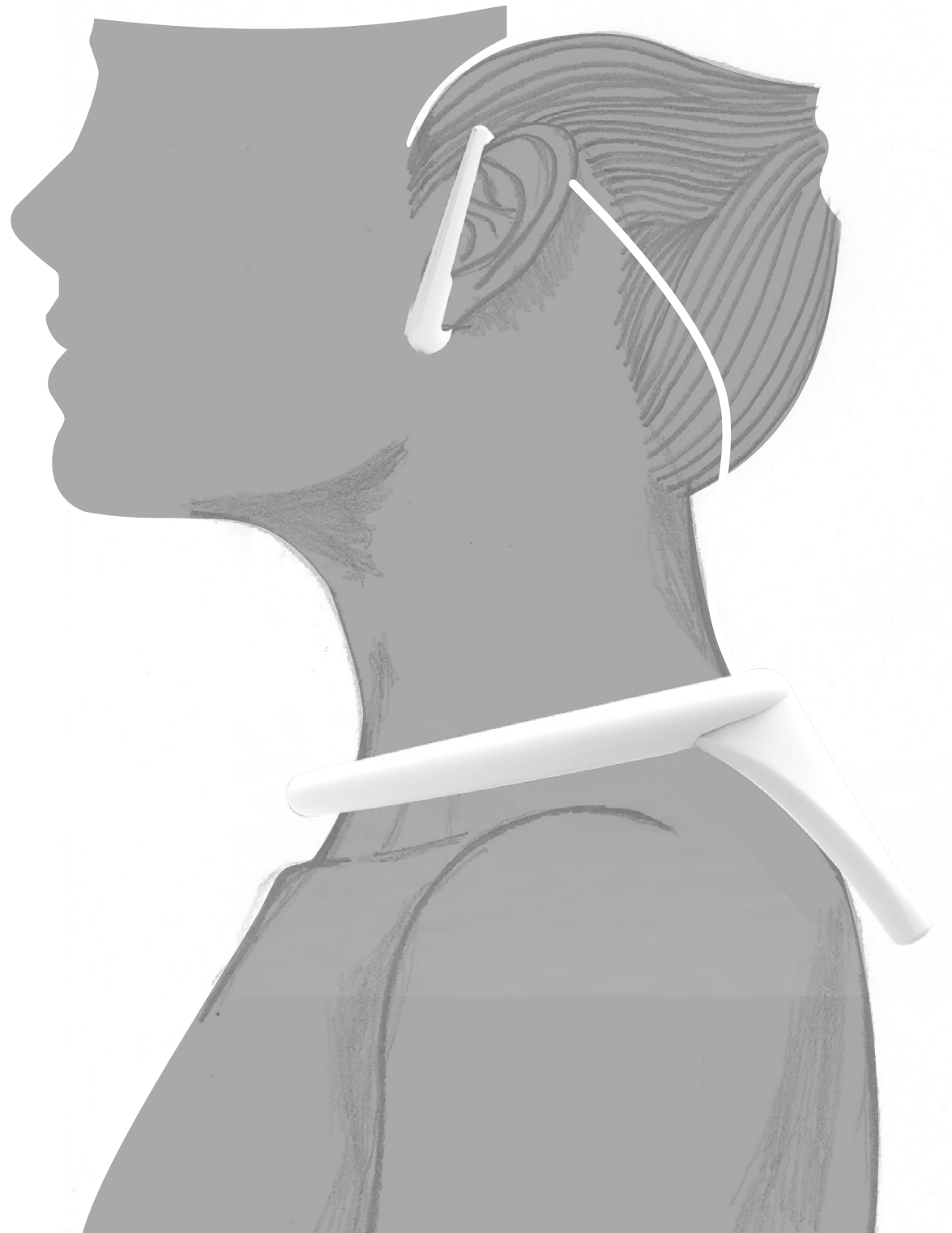
| Perspectiva del oxímetro en color blanco.



| Perspectiva del oxímetro en color negro.



| Sensor.



| Vista lateral del oxímetro.





| Botón de encendido y puerto de carga.

Planos

1

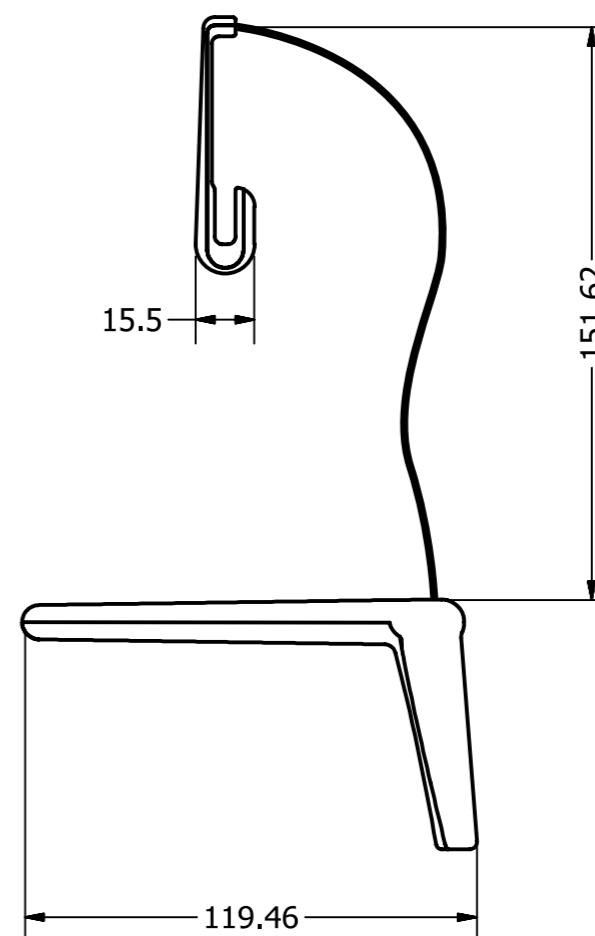
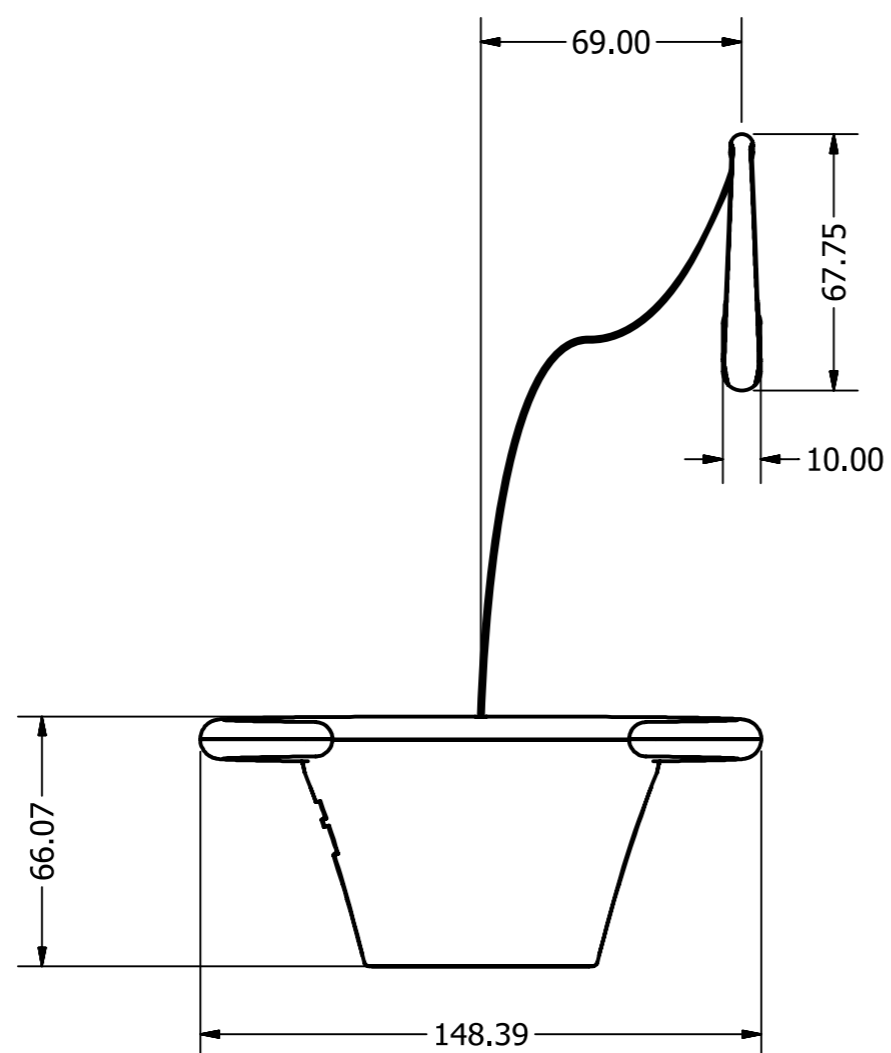
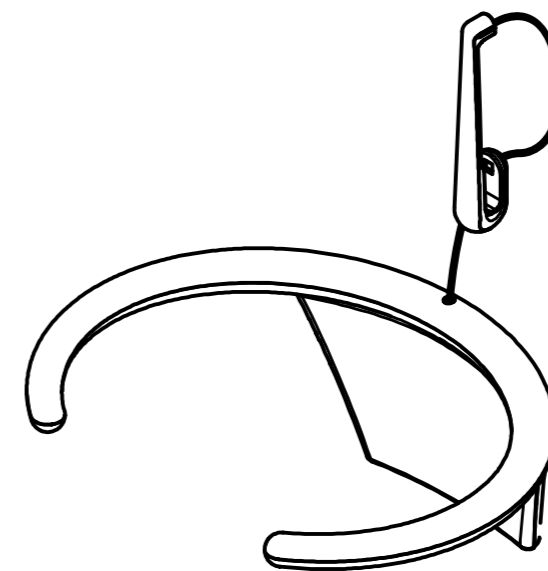
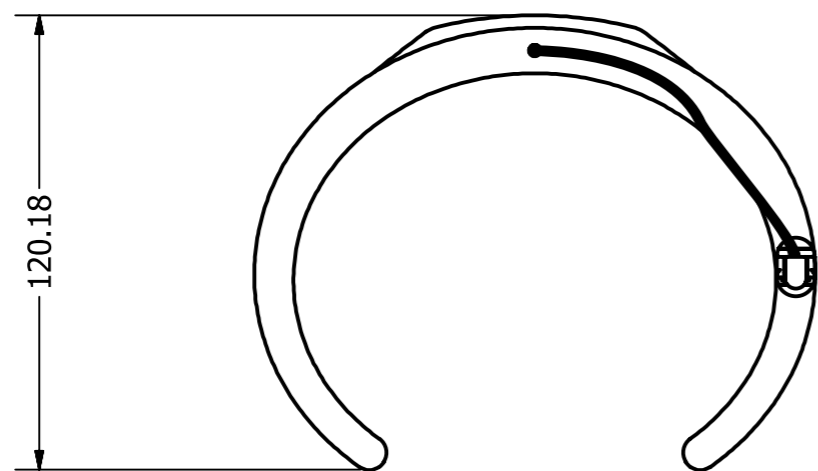
2

3

4

5

6



Del Moral Vidal
Jésica Tamara

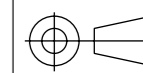
CIDI | UNAM

09 /
2016

Esc.
1:2

Oxímetro para uso prolongado

A3



Vistas generales

Cotas
mm

1/8

A

B

C

D

1

2

3

4

5

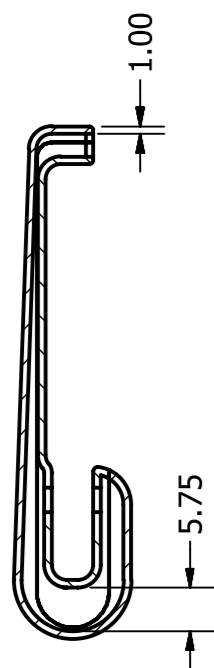
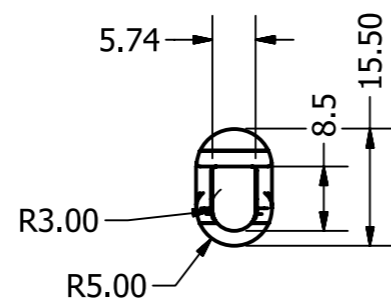
6

A

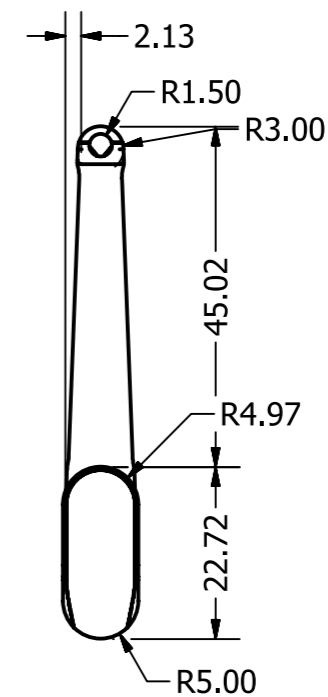
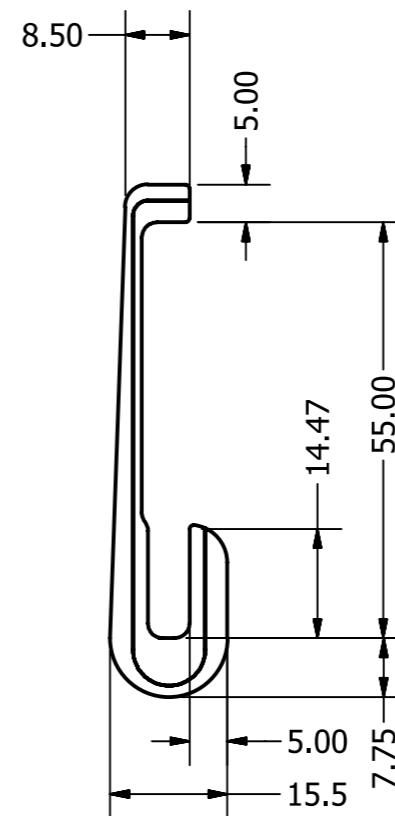
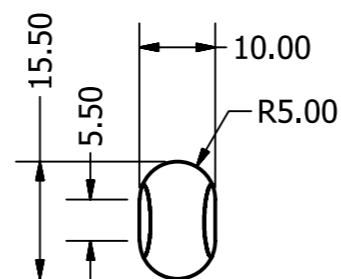
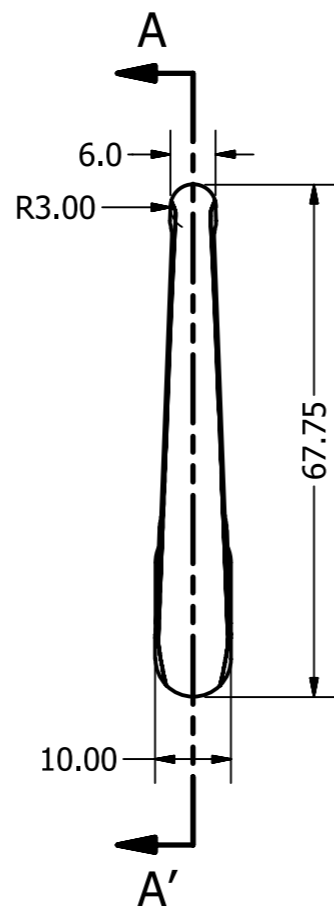
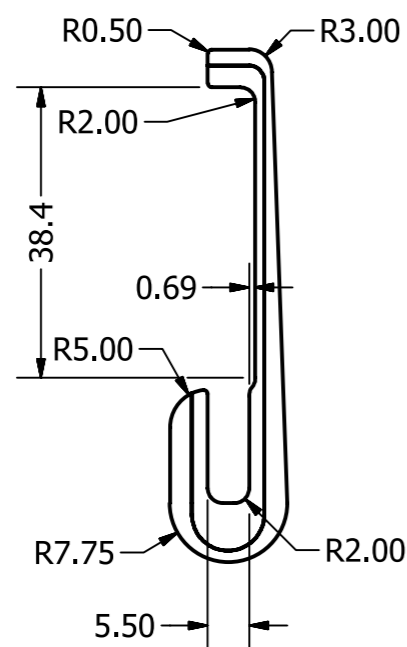
B

C

D



SECCIÓN A-A'
ESCALA 1 : 1



Del Moral Vidal
Jésica Tamara

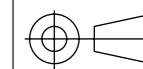
CIDI | UNAM

09 /
2016

Esc.
1:1

Oxímetro para uso prolongado

A3



Vistas generales | Sensor

Cotas
mm

2/8

1

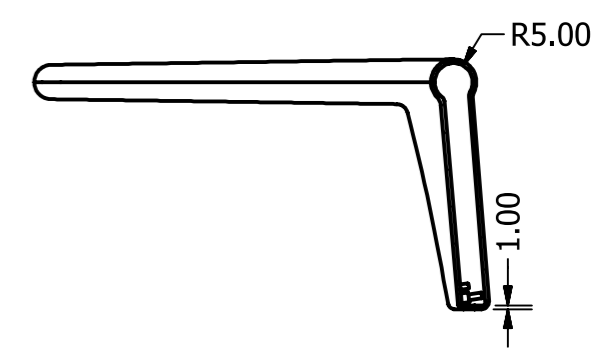
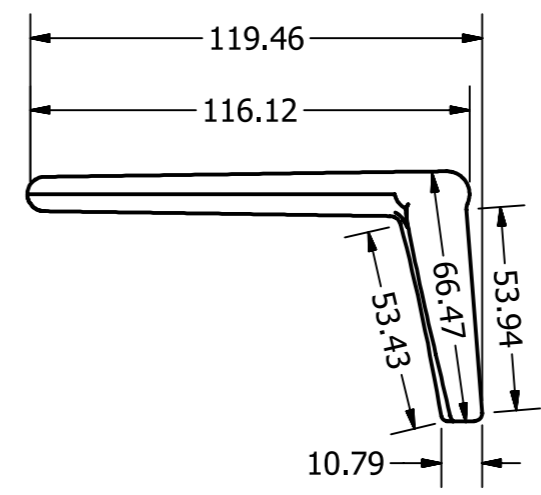
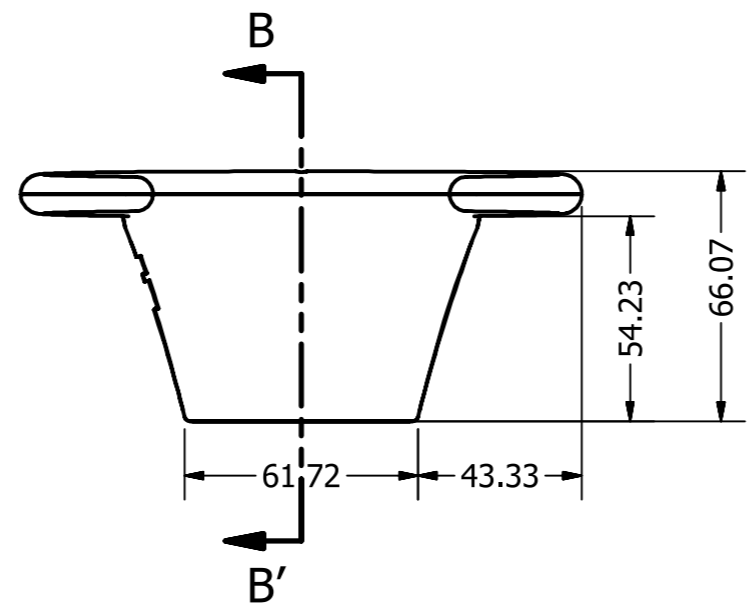
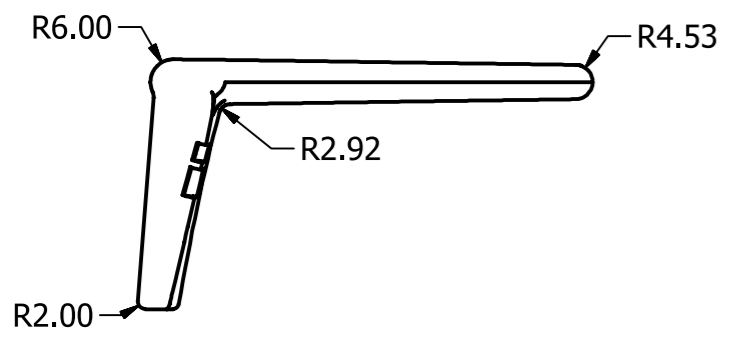
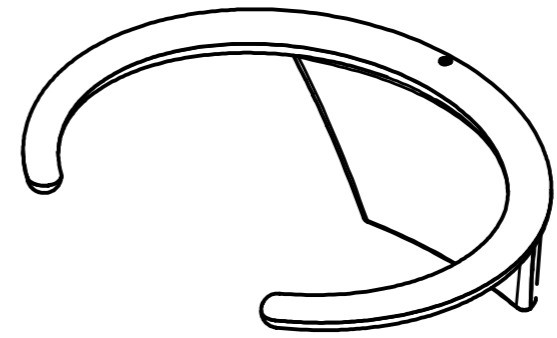
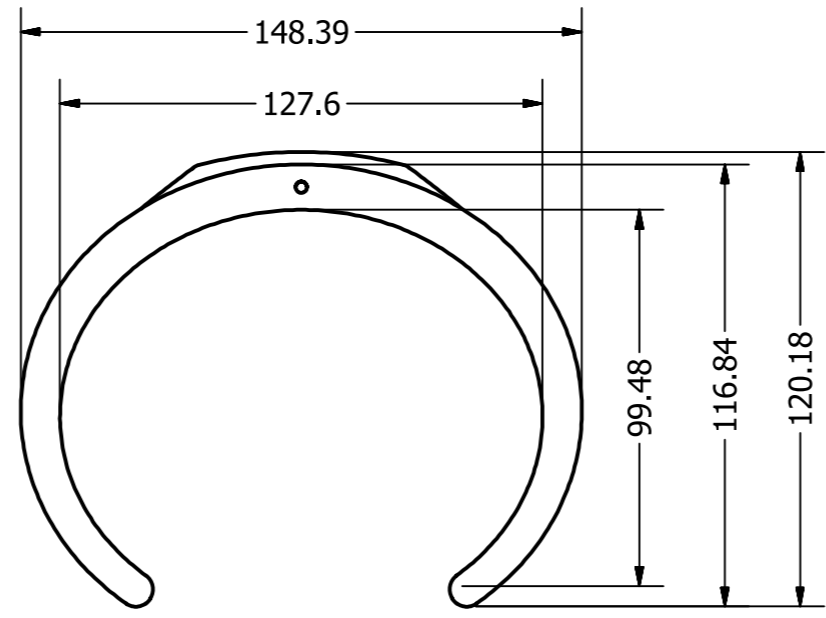
2

3

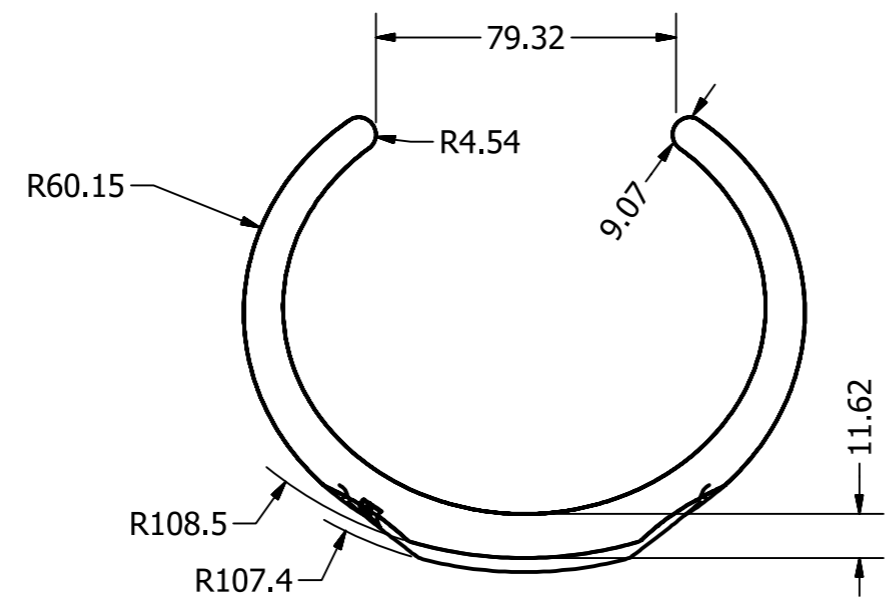
4

5

6



SECCIÓN B-B'
ESCALA 1 : 2



Del Moral Vidal Jésica Tamara	CIDI UNAM	09 / 2016	Esc. 1:2
Oxímetro para uso prolongado		A3	
Vistas generales SoM		Cotas mm	3/8

A

B

C

D

1

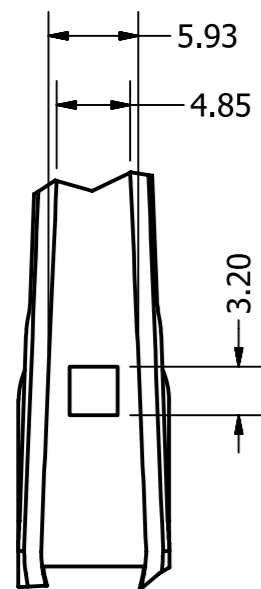
2

3

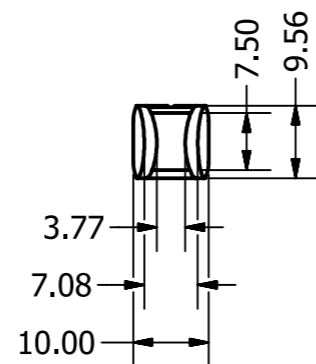
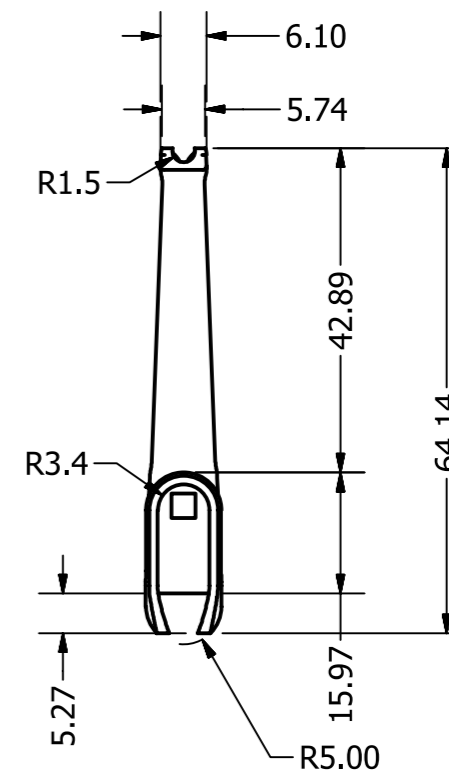
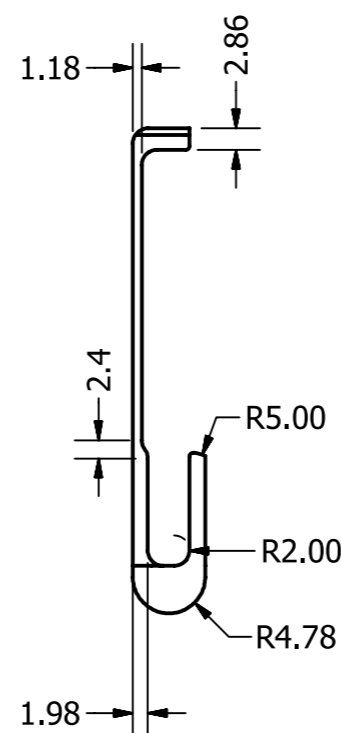
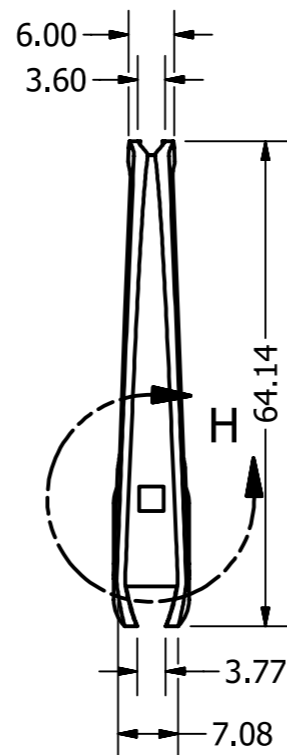
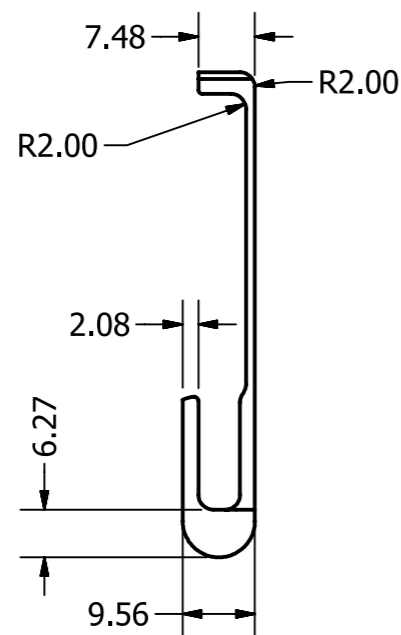
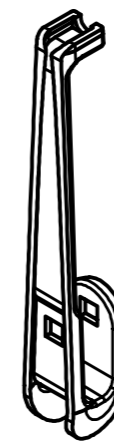
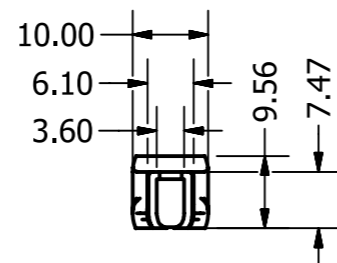
4

5

6



DETALLE H
ESCALA 2 : 1



Del Moral Vidal
Jésica Tamara

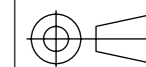
CIDI | UNAM

09 /
2016

Esc.
1:1

Oxímetro para uso prolongado

A3



Detalle | Sensor | Pieza A

Cotas
mm

4/8

A

B

C

D

1

2

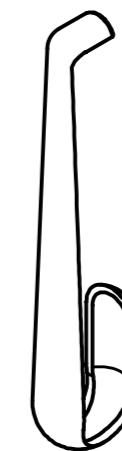
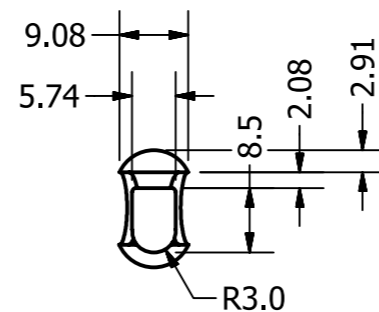
3

4

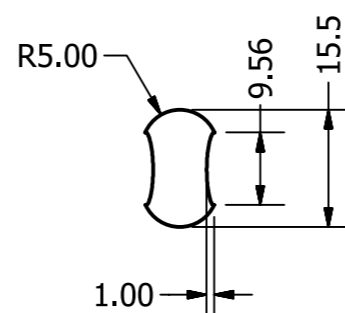
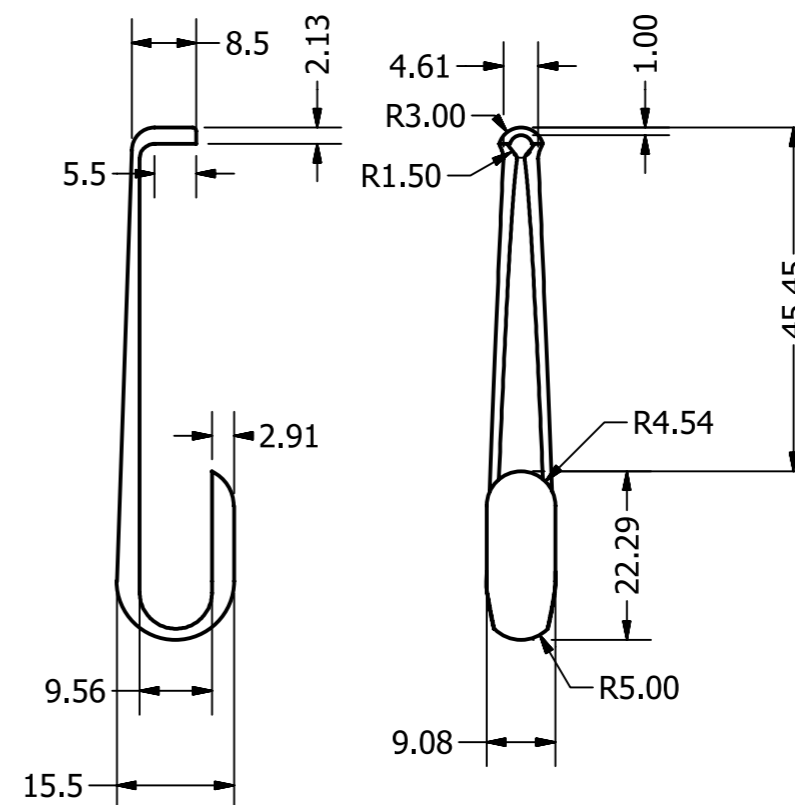
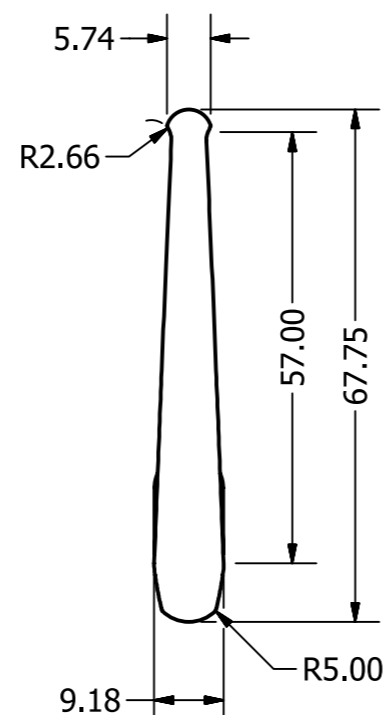
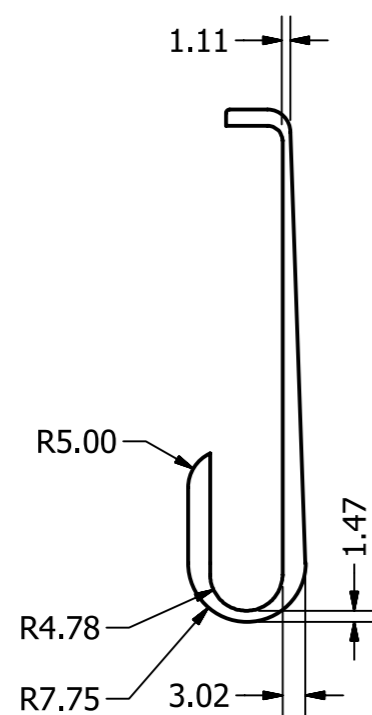
5

6

A



B



C

Del Moral Vidal
Jésica Tamara

CIDI | UNAM

09 /
2016

Esc.
1:1

D

Oxímetro para uso prolongado

A3



Detalle | Sensor | Pieza B

Cotas
mm

5/8

1

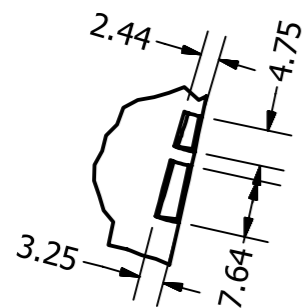
2

3

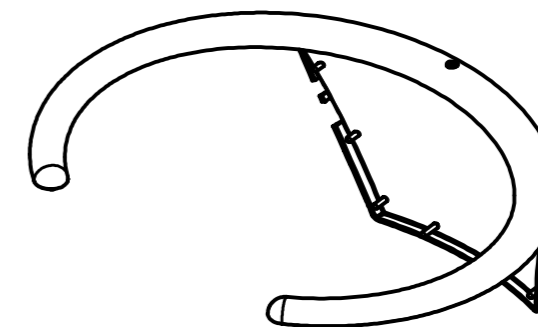
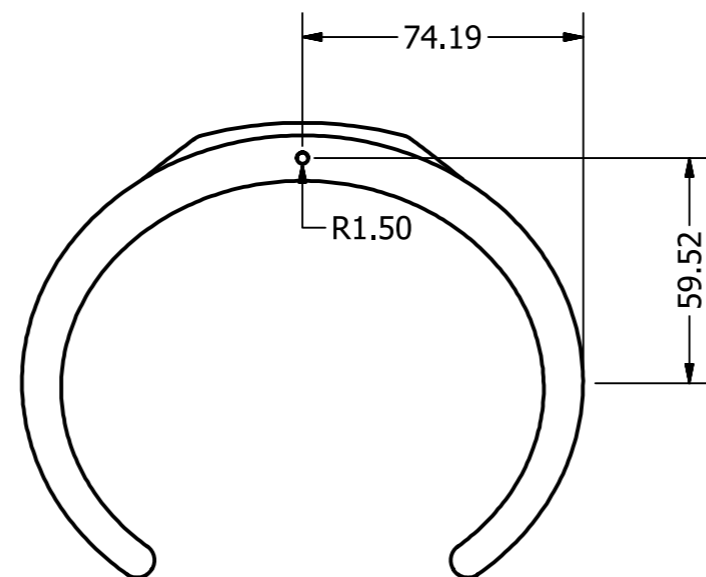
4

5

6



DETALLE C
ESCALA 1 : 1

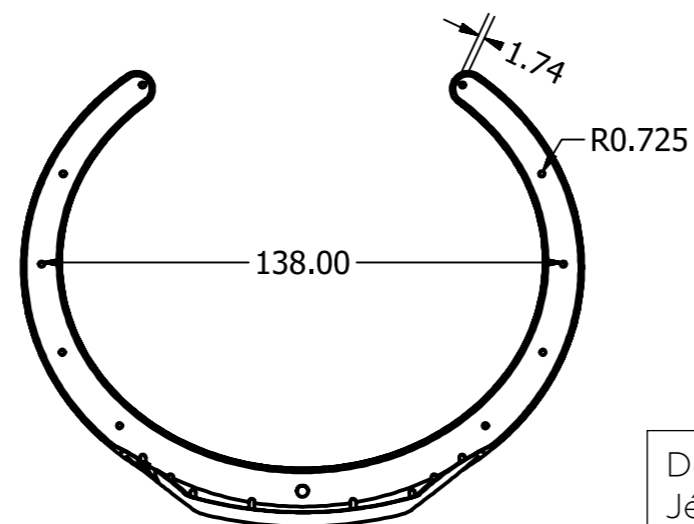
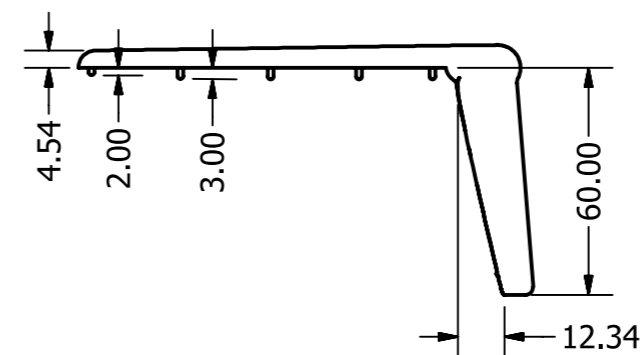
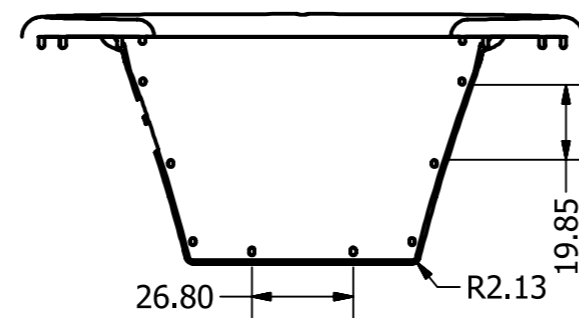
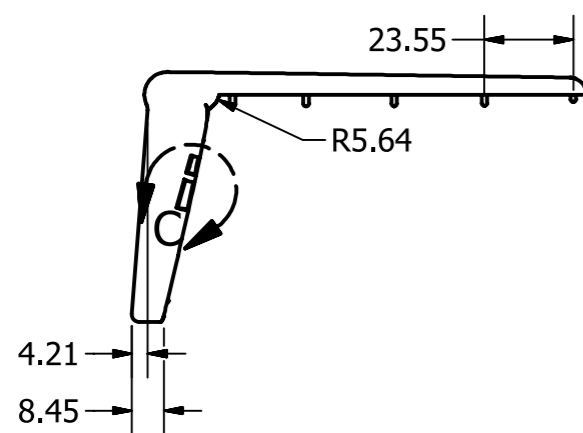


A

B

C

D



Del Moral Vidal
Jésica Tamara

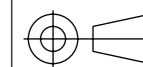
CIDI | UNAM

09 /
2016

Esc.
1:2

Oxímetro para uso prolongado

A3



Detalle | SoM | Pieza A

Cotas
mm

6/8

1

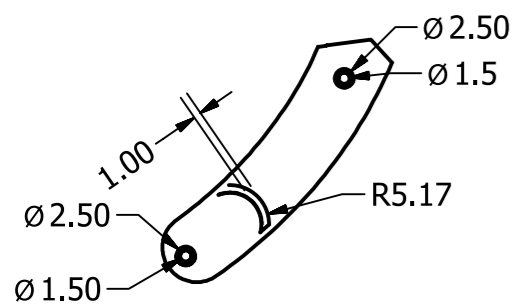
2

3

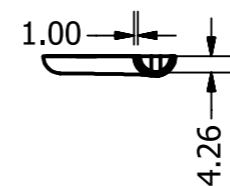
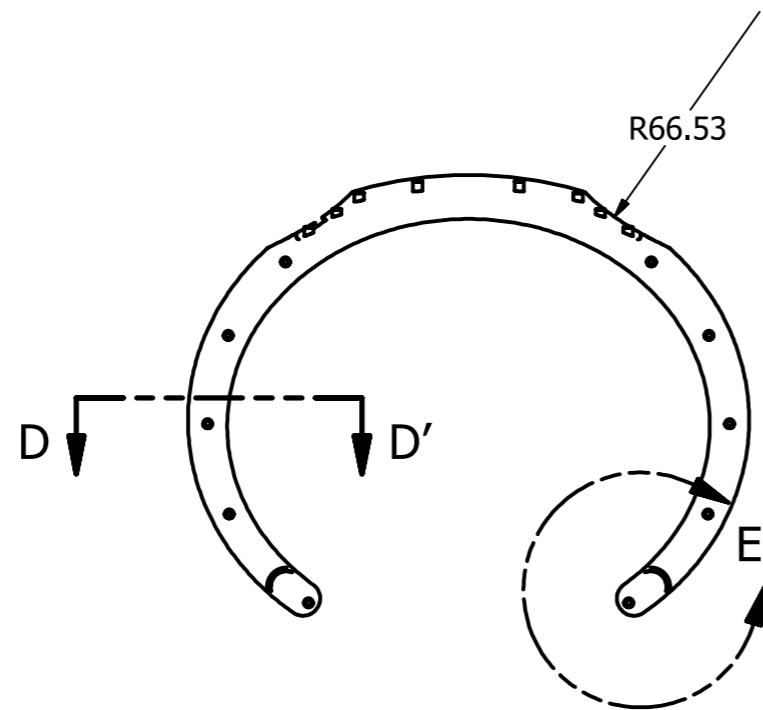
4

5

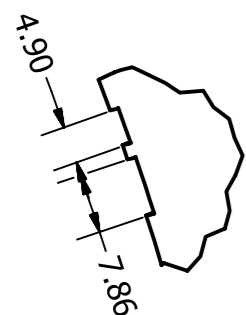
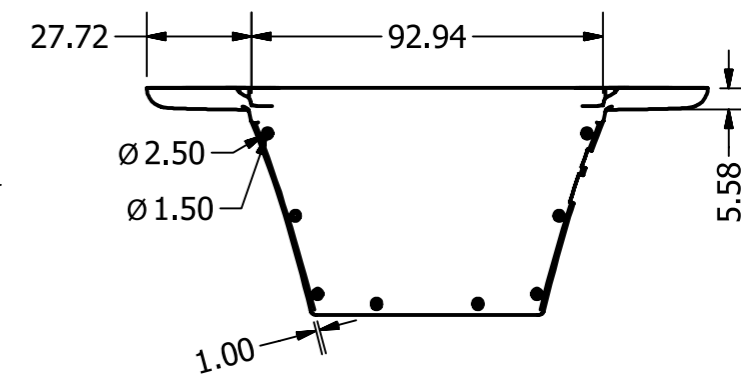
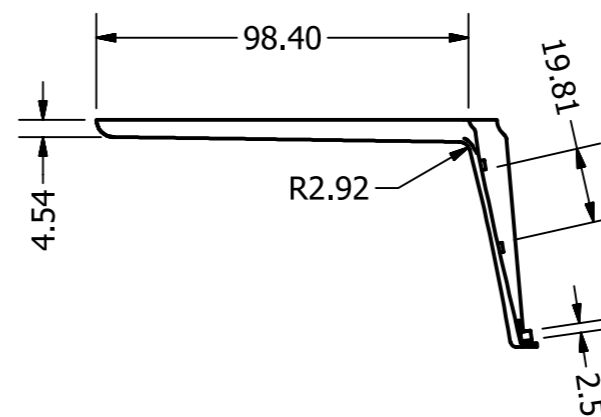
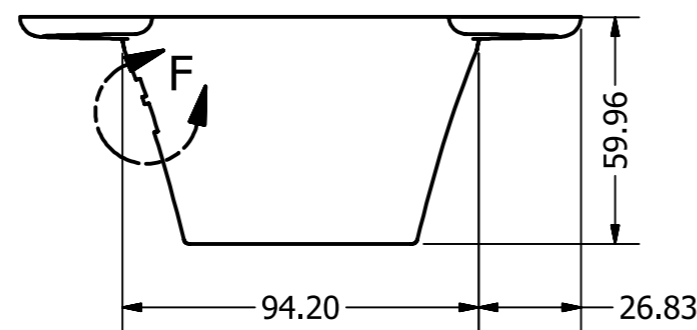
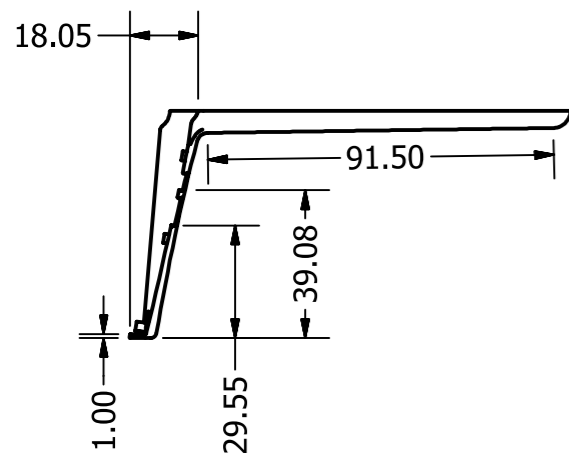
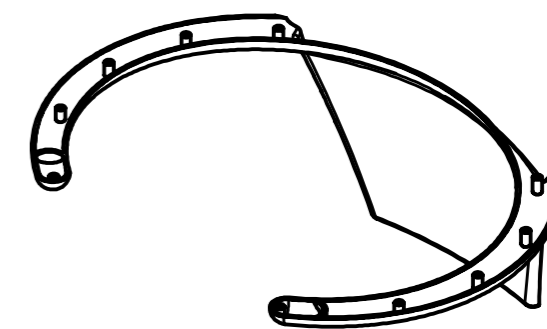
6



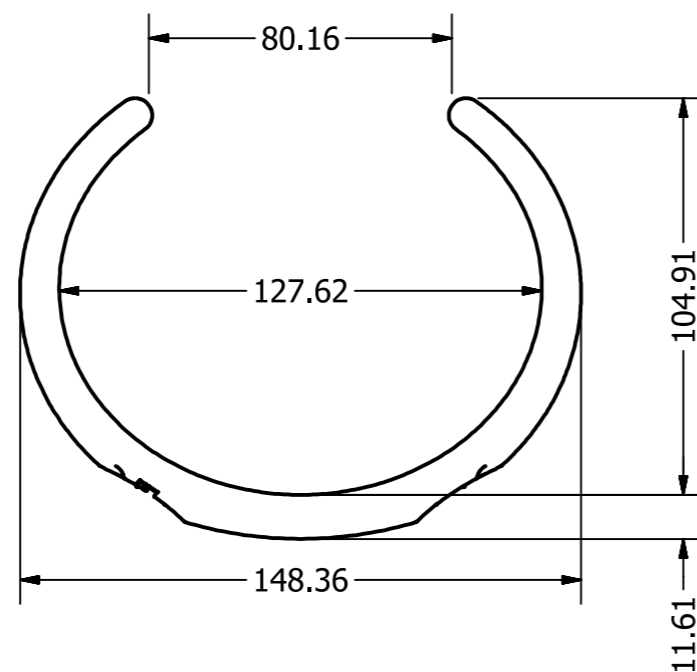
DETALLE E
ESCALA 1 : 1



SECCIÓN D-D'
ESCALA 1 / 20



DETALLE F
ESCALA 1 : 1



Del Moral Vidal Jésica Tamara	CIDI UNAM	09 / 2016	Esc. 1:2
Oxímetro para uso prolongado		A3	
Detalle SoM Pieza B		Cotas mm	7/8

A

B

C

D

1

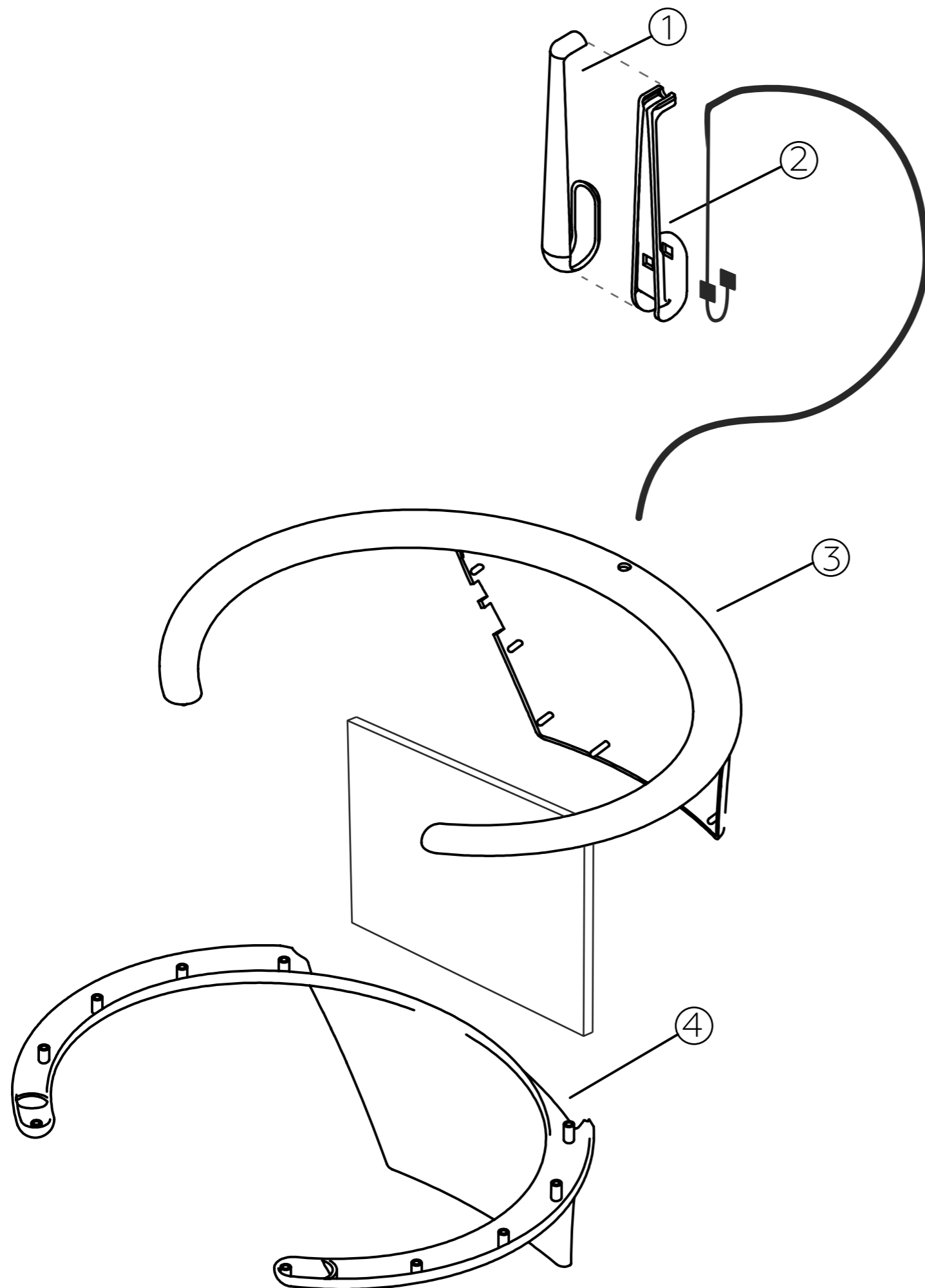
2

3

4

5

6



Referencia	Nombre	Proceso	Material	Cantidad
1	Sensor-A	Impresión 3D	ABS	1
2	Sensor-B	Impresión 3D	ABS	1
3	SoM-A	Inyección	ABS	1
4	SoM-B	Inyección	ABS	1

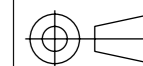
Del Moral Vidal
Jésica Tamara

CIDI | UNAM

09 /
2016

Oxímetro para uso prolongado

A3



Explosivo

Cotas
mm

8/8

A

B

C

D

CONCLUSIONES

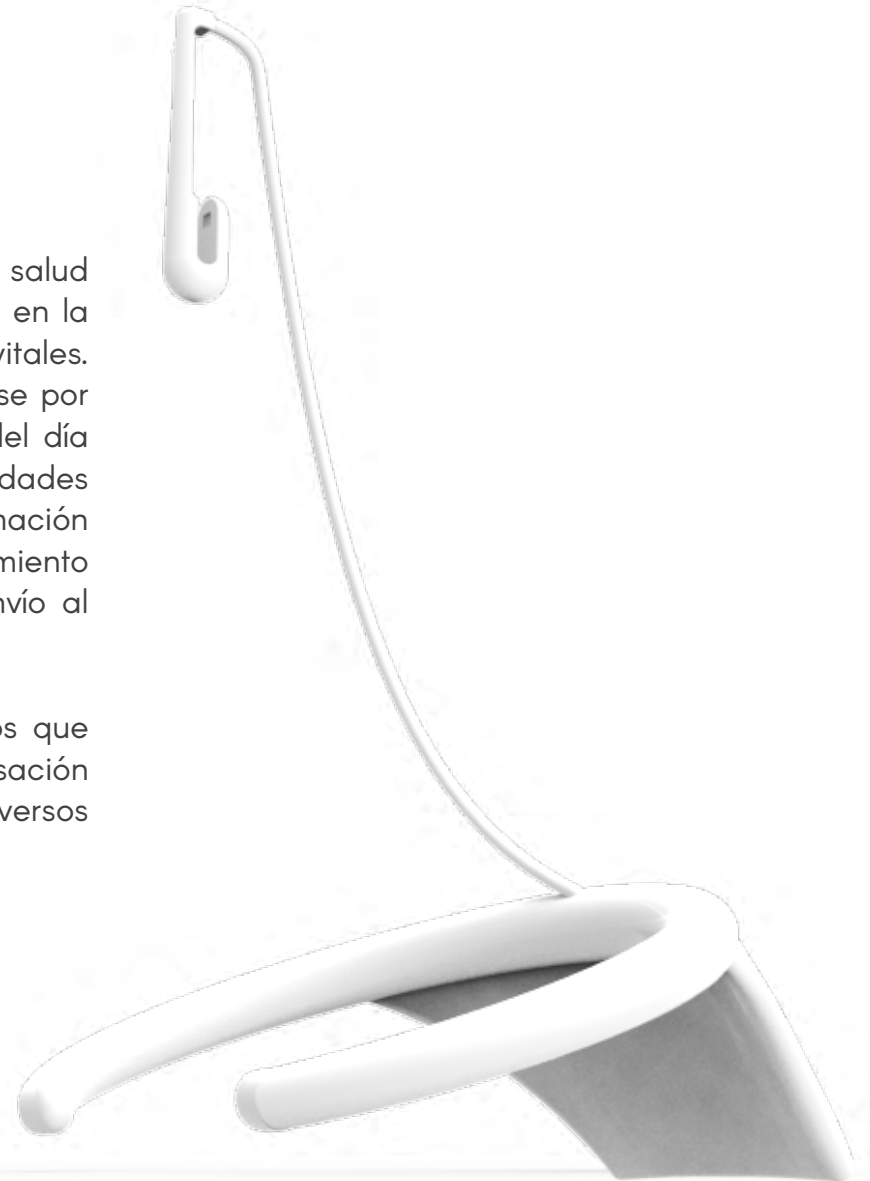
Los objetivos establecidos al inicio del proyecto se lograron en su mayoría. Se incorporaron los elementos electrónicos a una interfaz que permitiera al usuario usar el oxímetro a lo largo del día, este era uno de los principales objetivos; se siguieron las medidas establecidas por los componentes electrónicos dentro del diseño y se consideró el uso de tecnología inalámbrica, también se incorporó la posibilidad de transferencia de datos mediante un cable hacia una computadora.

Otro de los puntos solicitados fue la incorporación del oxímetro al mundo de los wearables, esto se logró al integrar la tecnología empleada con la estética del objeto, además de ello se le dio un aspecto ornamental o de joyería para que las personas no lo perciban como un dispositivo médico.

PROPUESTA DE VALOR

Este oxímetro de pulso posibilita al usuario supervisar su salud a lo largo del día, específicamente sus niveles de oxígeno en la sangre, de esta manera evitar daños mayores en órganos vitales. La configuración elegida permite al usuario no preocuparse por colocar el oxímetro en su dedo varias veces a lo largo del día para poder conocer el SpO_2 , le permite realizar sus actividades cotidianas dejando libres sus manos y sus pies. La programación establecida por el equipo de ciencias permite el almacenamiento de dicha información para consultas posteriores y su envío al médico de cada paciente.

La estética empleada lo aleja de los dispositivos médicos que se encuentran en el mercado, esto busca evitar la sensación de enfermedad que muchos pacientes perciben de diversos dispositivos actuales tales como los aparatos auditivos.



FUTURO DEL PROYECTO

Aunque se cubrieron prácticamente todas las características solicitadas, no ha sido posible probarlo al 100% pues falta detallar los Elementos Electrónicos para que puedan funcionar de manera inalámbrica sin presentar interferencias en las lecturas, una vez logrado esto se podrá instalar los EE en el oxímetro y hacer pruebas que provean datos directos para el mejoramiento del dispositivo.

Con el incremento de la tecnología y la popularización de las impresoras 3D podría reanalizarse el proyecto y disminuir las dimensiones de los componentes del oxímetro. Igualmente podría considerarse producir ambos elementos en impresión 3D, con esta acción podría fusionarse el proceso en la fábrica y el proceso del M3D y así reducir costos en transportación.

Finalmente no se debe olvidar que para completar el ciclo de funcionamiento óptimo del oxímetro es necesario desarrollar una app que permita al usuario tener un control completo sobre la información de su SpO_2 .

REFLEXIONES FINALES

La elaboración de proyectos donde interactúan diferentes entidades de la universidad brinda una visión distinta a la que se genera durante el desarrollo de proyectos entre diseñadores exclusivamente. He tenido la oportunidad de participar en dos proyectos multidisciplinarios y ambos han brindado un gran aprendizaje para mi.

Resulta interesante contrastar los métodos y el conocimiento que poseen los diversos integrantes de los equipos pues todos solemos mantenernos inmersos en nuestro campo y pasamos por alto puntos que son de igual relevancia.

Para mí y mi futuro desarrollo profesional, algo básico se ha convertido el seguir confluyendo con distintas áreas del conocimiento, dar la debida importancia a los comentarios que el resto de las personas pueden aportar para un proyecto, me parece que esta idea debería llevarse a las futuras generaciones de diseñadores pues amplían aún más el campo de acción del diseño industrial y puede, a su vez propiciar un mejor desarrollo para el país.

Anexos

ANEXO 1 | GLOSARIO

A

ALVÉOLO PULMONAR¹³⁶: estructuras globulares que forman racimos al final de los bronquiolos. En ellos se da el intercambio de gases (O_2 y CO_2) entre el aire inspirado y la sangre que circula por los pulmones.

AMORFO¹³⁷: en química se refiere al orden que poseen las estructuras de los materiales sólidos no cristalinos, las cuales a diferencia de los previamente mencionados, no poseen un ordenamiento periódico.

ANOXIA¹³⁸: disminución casi total del oxígeno distribuido de la sangre a los tejidos.

APNEA DEL SUEÑO¹³⁹: trastorno común en el que la persona que lo sufre hace una o más pausas en la respiración o tiene respiraciones superficiales durante el sueño.

B

BIOCOMPATIBILIDAD⁹⁶: dicese de un material farmacológicamente inerte capaz de interactuar directamente con tejido vivo sin afectarlo.

C

CANDIDOSIS¹⁴⁰: es una infección micótica causada en cualquier tejido.

CAPACIDAD PULMONAR¹⁴¹: Es el volumen de aire que hay en el aparato respiratorio, después de una inhalación máxima voluntaria.

CAPILARES²: vasos sanguíneos diminutos donde se realiza el intercambio gaseoso con los tejidos del cuerpo.

CIANOSIS¹⁴²: La cianosis es una coloración azul de los labios y los dedos de las manos y de los pies. Se produce en algunas personas con defectos cardíacos congénitos que hacen que la sangre circule en forma anormal.

CÓDIGO ABIERTO¹⁴³: Hace referencia al software que es distribuido de manera gratuita.

COEFICIENTE DE EXTINCIÓN¹⁴⁴: es una constante que hace referencia a la capacidad de una sustancia de absorber un haz de luz incidido.

CONSTREÑIR¹⁴⁵: presionar u oprimir un conducto hasta cerrarlo parcial o totalmente.

COPOLÍMEROS¹⁴⁶: presionar u oprimir un conducto hasta cerrarlo parcial o totalmente

D

DIFUSIÓN DE GASES¹⁴⁷: proceso natural en el que las moléculas pasan de una zona de mayor concentración a otra de menor concentración.

E

EDEMA¹⁴⁸: hinchazón causada por la acumulación de líquido en los tejidos del cuerpo.

ENFERMEDAD AGUDA¹⁴⁹: son aquellas que tienen un inicio y un fin claramente definidos. Este término hace referencia a la duración de la enfermedad y no a la gravedad de la misma.

ENFERMEDAD CRÓNICA¹⁴⁹: aquellas que afectan a los pacientes por periodos prolongados. Una enfermedad se considera crónica cuando sobrepasa los tres meses de duración.

F

FIBROADIPOSO¹⁵⁰: tejido compuesto por una mezcla de tejido fibroso y grasa

FIBROSIS¹⁵¹: Formación patológica de tejido fibroso en un órgano del cuerpo.

FOTODETECTOR¹⁵²: dispositivo que convierte una señal de luz a una señal eléctrica de voltaje o corriente.

FOTODIODO¹⁵³: es un dispositivo que conduce una cantidad de corriente eléctrica proporcional a la cantidad de luz que lo incide.

FOTOPLETISMOGRAMA¹⁵⁴: análisis en el que se mide la intensidad de la luz reflejada por la superficie de la piel y los elementos debajo de la misma, permite determinar el volumen de la sangre de dicha área.

H

HIDROCOLOIDE¹⁵⁵: Sistema material compuesto por dos fases, una dispersa(polvo) y otra dispersante(agua), pasan de ser una solución a ser un gel. Existen hidrocoloides reversibles e irreversibles.

I

INTERNET DE LAS COSAS¹⁵⁶: hace referencia a la posibilidad de vincular diversos elementos de hogar gracias al internet.

L

LÍQUIDO INTERSTICIAL²: es el líquido que se encuentra fuera de las células y ocupa pequeños espacios entre las células de los tejidos.

M

MANUBRIO²: hueso. Parte superior del esternón.

N

NECROSIS¹⁶⁷: muerte del tejido corporal ocasionada por la poca o nula presencia de flujo sanguíneo en dicho tejido.

P

PRESIÓN PARCIAL DEL O₂ EN SANGRE¹⁶⁸: presión ejercida por el oxígeno que se halla disuelto en el plasma.

S

SIBILANCIAS¹⁶⁹: son un sonido silbante y chillón durante la respiración, que ocurre cuando el aire se desplaza a través de los conductos respiratorios estrechos en los pulmones.

SINDIOTÁCTICO¹⁶⁰: tipo de configuración de la cadena polimérica en la que los grupos secundarios con regularidad posiciones alternas en los lados opuestos de la cadena.

V

VASOCONSTRICCIÓN¹⁶¹: Estrechamiento de los vasos sanguíneos, torna lenta o bloquea la circulación de la sangre. Las primeras zonas donde puede observarse es en manos y pies.

ANEXO 2 | PRUEBA PROPUESTA A



Fotografías de pruebas con el prototipo 2 de la propuesta A. Se bolearon los bordes del sensor para generar una superficie agradable para los usuarios.

ANEXO 3 | PRUEBAS PROPUESTA FINAL



Paciente de 22 años, estatura 1.58m, peso 57kg.

Tanto el SoM como el sensor se ajustan correctamente a su cuello y a su oreja.



Paciente de 73 años, estatura 1.50m, peso 70kg.

Aunque el SoM le quedó bien a su cuello y fue posible colocar el sensor en su lóbulo, la longitud de soporte era insuficiente.

Paciente de 80 años, estatura 1.55, peso 70kg.

El SoM se ajustó bien a su cuello, sin embargo no fue posible colocar el sensor debido a que el grosor del lóbulo superaba las dimensiones de la ranura y la longitud de soporte era muy pequeña.



Paciente de 49 años, estatura 1.55m, peso 58kg.

Tanto el SoM como el sensor se ajustan adecuadamente a su cuello y su oreja.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Modabook Magazine [Internet]. [Lugar desconocido]:Modabook Magazine; [consultado el 20 de septiembre de 2016]. 8 ventajas de ser una persona positiva; [una pantalla]. Disponible en: <http://www.modabookmagazine.com/8-ventajas-de-ser-una-persona-positiva/>
2. Wise Geek [Internet]. Nevada;Wise Geek; 2003- [consultado en agosto de 2016]. What is a finger pulse oximeter?; [una pantalla]. Disponible en: <http://www.wisegeekhealth.com/what-is-a-finger-pulse-oximeter.htm>
3. Everard M. Breathing space: the natural and unnatural history of air [e-book]. London: Zed books; 2015.
4. Pulmonary alveolus: alveoli and capillaries in the lungs [Illustration]. In Encyclopedia Britannica. Retrieved from: <https://www.britannica.com/science/capillary/images-videos/The-alveoli-and-capillaries-in-the-lungs-exchange-oxygen-for/107200>
5. Totorá GJ, Derrickson B. Principios de Anatomía y Fisiología [e-book]. 1a edición en español. México, D.F.: Editorial Médica Panamericana; 2015.
6. González Villa EA. Desarrollo y caracterización de un oxímetro de pulso para el análisis de series de tiempo [Tesis]. México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias; 2015.
7. Capillary [Illustration]. In: Encyclopedia Britannica. Retrieved from: <https://www.britannica.com/science/capillary/images-videos/Cross-section-of-a-capillary/141784>
8. Vivak. Blog Expedición Escalando América 2011 [Internet]. México:Vivak. 2011; [consultado en agosto de 2016]. Disponible en: <http://escalandoamerica2.blogspot.mx>
9. Escuela de Medicina de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Capítulo 11: Hipoxemia e hipoxia. En: Fisiología respiratoria. [consultado en mayo de 2016]. Disponible en: <http://escuela.med.puc.cl/publ/Aparatorespiratorio/11Hipoxia.html>
10. CEFHONAC [Internet]. Ciudad de Guatemala:CEFHONAC. 27 de mayo de 2014; [consultado el 30 de agosto de 2016]. Oxigenoterapia; [una pantalla]. Disponible en: <http://cefhonac.org/oxigenoterapia/>
11. Autor desconocido. Sólo la UA de C especializa en atención al adulto mayor. El Heraldo de Saltillo. 10 de diciembre de 2016; [consultado el 20 de septiembre de 2016]. Disponible en: <http://elheraldodesaltillo.mx/2015/12/10/solo-la-ua-de-c-especializa-en-atencion-al-adulto-mayor/>

12. Dirección Nacional de Promoción de la Salud y Control de Enfermedades no Transmisibles. Enfermedades respiratorias [Internet]. Buenos Aires:Ministerio de Salud; [consultada en mayo de 2016]. Disponible en: <http://www.msal.gob.ar/ent/index.php/informacion-para-ciudadanos/enfermedades-respiratorias>
13. Gobierno de la Ciudad de México. Asma, Guías esenciales para la salud. 1a ed. Ciudad de México:App Editorial; 2014.
14. National Heart, Lung, and Blood Institute. Asma [Internet]. EEUU:NIH. [consultado en octubre de 2014]; [aproximadamente 10 pantallas]. Disponible en: <http://www.nhlbi.nih.gov/health-spanish/health-topics/temas/asthma>
15. DyN. Casi 6% de los argentinos tiene asma. Los Andes. 5 de mayo de 2016; [consultado en agosto de 2016]. Disponible en: <http://www.losandes.com.ar/article/-casi-el-6-por-ciento-de-los-argentinos-tiene-asma-846308>
16. National Heart, Lung and Blood Institute. EPOC [Internet]. EEUU:NIH; [actualizada 26 de septiembre de 2014; consultada septiembre de 2014]. Disponible en: <http://www.nhlbi.nih.gov/health-spanish/health-topics/temas/copd>
17. Emphysema. [Illustration]. In Encyclopedia Britannica. Retrieved from: <https://global.britannica.com/science/emphysema/images-videos/Emphysema-destroys-the-walls-of-the-alveoli-of-the-lungs/107143>
18. Organización Mundial de la Salud. Enfermedades Cardiovasculares [Internet]. Ginebra:OMS; enero 2015 [consultada en mayo de 2016]. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs317/es/>
19. Administrador. Cuando un infarto no duele, ¿cómo saberlo?. [Consultado en agosto de 2016]. En: Bienestar al día [Internet]. [Lugar desconocido]:Bienestar al día; [una pantalla]. Disponible en: <http://bienestaraldia.net/infarto-sin-dolor/>
20. National Heart, Lung and Blood Institute. Heart Failure [Internet]. EEUU:NIH; [consultado en septiembre de 2014]; [aproximadamente 11 pantallas] Disponible en: <http://www.nhlbi.nih.gov/health/health-topics/topics/hf>
21. Medline Plus. Anemia [Internet]. EEUU:NIH; [actualizada el 2 de enero de 2016; consultada en mayo de 2016]. Disponible en:<https://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/000560.htm>

22. Iron deficiency anemia [Photo]. In Encyclopedia Britannica. Retrieved from: <https://global.britannica.com/science/anemia/images-videos/Blood-smear-of-a-patient-with-iron-deficiency-anemia-showing/116856>
23. National Heart, Lung and Blood Institute. What is cystic fibrosis? [Internet]. EEUU:NIH; [actualizado el 26 de diciembre de 2013; consultado en mayo de 2014]. Disponible en: <http://www.nhlbi.nih.gov/health/health-topics/topics/cf>
24. Mayo Clinic. Cystic fibrosis [Internet]. [Lugar desconocido]:Mayo Foundation for Medical Education and Research. 1998- [consultado en agosto de 2016]. Disponible en: <http://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/cystic-fibrosis/multimedia/cystic-fibrosis/img-20005623>
25. National Heart, Lung and Blood Institute. Oxygen Therapy [Internet]. EEUU:NIH; [consultado en mayo de 2014]; [aproximadamente 10 pantallas]. Disponible en: <http://www.nhlbi.nih.gov/health/health-topics/topics/oxt>
26. Cardio congénitas [Internet]. Argentina: Ignacio Lugones; [consultado el 20 de septiembre de 2016]. Postoperatorio; [una pantalla]. Disponible en: <http://cardiocongenitas.com.ar/diagnostico-y-tratamiento.php#postoperatorio>
27. Autor desconocido. Inhaloterapia (oxigenoterapia). 4 de junio de 2012 [consultado el 20 de septiembre de 2016]. En: El blog de la enfermera [Internet]. México:El blog de la enfermera; 2008-2013; [una pantalla]. Disponible en: <http://enferlic.blogspot.mx/2012/06/inhaloterapia-oxigenoterapia.html>
28. Gasometría.com [Internet]. [Lugar desconocido]: Guillermo Pérez. [Consultado el 30 de agosto de 2016]. Saturación de oxígeno en la sangre; [una pantalla]. Disponible en: http://www.gasometria.com/saturacion_de_oxigeno_en_sangre
29. Manrique I. Ácido láctico en gasometría. 21 de diciembre de 2015; [consultado en agosto de 2016]. En: El enfermero pendiente [Internet]. España:Manrique Isidro; 2015; [una pantalla]. Disponible en: <https://elenfermerodependiente.com/2015/12/21/acido-lactico-en-gasometria/>
30. Withings, Inspire health [Internet]. EEUU:Withings; [actualizado el 29 de octubre de 2015; consultado en mayo de 2016]. What does SpO2 mean? What is a normal SpO2 level? [una pantalla]. Disponible en: <https://withings.zendesk.com/hc/en-us/articles/201494667-What-does-SpO2-mean-What-is-a-normal-SpO2-level->
31. News medical, life sciences & medicine. Onyx 9500 Pulse oximeter from Nonin Medical [Internet]. [Lugar desconocido]:AZoM.com;2000; [consultada en agosto de 2016]. Disponible en: <http://www.news-medical.net/Onyx-9500-Pulse-Oximeter-from-Nonin-Medical>

32. Organización Mundial de la Salud. Manual de oximetría de pulso global [Internet]. Ginebra:OMS; 2010 [consultado en mayo de 2016]. Disponible en: <http://www.lifebox.org/wp-content/uploads/2012/11/WHO-Pulse-Oximetry-Training-Manual-Final-Spanish.pdf>
33. Catálogo Hospitalar [Internet]. Brasil: Catálogo Hospitalar; [consultado en agosto de 2016]. Oxímetro de pulso sem curva PV 4000 com LED; [una pantalla]. Disponible en: <http://catalogohospitalar.com.br/oximetro-de-pulso-sem-curva-pv-4000-com-led.html>
34. Welch Allyn [Internet]. Nueva York: Welch Allyn, Inc; 2015 [consultado en agosto de 2016]. Monitores Propaq Encore; [una pantalla]. Disponible en: <http://intl.welchallyn.com/apps/products/product.jsp?region=spain&id=11-ac-100-0000000001101>
35. Concord, health supply [Internet]. Illinois:Concord Health Supply; [consultado en agosto de 2016]. Nonin GO2 achieve pulse oximeter; [una pantalla]. Disponible en: <http://www.concordhealthsupply.com/Nonin-Go2-Achieve-Fingertip-Pulse-Oximeter-p/non-9570.htm>
36. Oxímetro de pulso [video en Internet]. UBCITO. 18 de junio de 2013; [consultado en septiembre de 2014]. Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=B_k8GpYZzms
37. Dreamstime. Médico y paciente que usa el oxímetro del pulso del finger. [Lugar desconocido]:dreamstime; [consultada en agosto de 2016]. Disponible en: <https://es.dreamstime.com/foto-de-archivo-mdico-y-paciente-que-usa-el-oxmetro-del-pulso-del-finger-image66347690>
38. DealExtreme [Internet]. [Lugar desconocido]:DX. 16 de febrero de 2013; [consultado en octubre de 2014]. Pulsómetro; [una pantalla]. Disponible en: <http://www.dx.com/es/p/1-1-oled-screen-spo2-heart-rate-monitor-fingertip-pulse-oximeter-blue-black-white-2-x-aaa-187708#.V8ezsmVwHIM>
39. Sonoleäd [Internet]. Monterrey: Sonoleäd. [Consultado en octubre de 2014]. Oxímetro de pulso Sonoleäd Pro 100; [una pantalla]. Disponible en: <http://sonolead.com/oximetros/oximetro-de-pulso-sonolead-pro-o2-100-equipomedico>
40. Ebay [Internet]. China: Contec. [Consultado en octubre de 2014]. Oxímetros; [una pantalla]. Disponible en: <http://www.ebay.com/itm/ConTec-CE-FDA-Fingertip-Pulse-Oximeter-Spo2-Monitor-Blood-Oxygen-CMS50L-/161132143891>

41. **Contec** [Internet]. China:Contec. [Consultado en octubre de 2014]. Pulse oximeter CMS50L; [una pantalla]. Disponible en: http://www.contecmed.com/index.php?page=shop.product_details&flypage=flypage.tpl&product_id=133&category_id=7&option=com_virtuemart&Itemid=592
42. **Nonin**. Instructions for use – Onyx II Model 9560 finger pulse oximeter [Internet]. EEUU: Nonin. 2013; [consultado en octubre de 2014]. Disponible en: http://www.nonin.com/documents/IFUManuals/6742-001-05_9560%20IFU_ENG.pdf
43. **Discount Home Automation** [Internet]. EEUU: Nonin Onyx II Fingertip Pulse Oximeter with bluetooth; [una pantalla]. Disponible en: <http://www.discounthomeautomation.com/Nonin-Onyx-II-Wireless-Fingertip-Pulse-Oximeter-with-Bluetooth-Technology-NO9560>
44. **Sonolife** [Internet]. México:Sonolife. 2008 [Consultado en octubre de 2014]. Oxímetros; [una pantalla]. Disponible en: <http://www.sonolife.net/Oxímetros>
45. **Concord, health supply** [Internet]. EEUU:Concord Health Supply, Inc. [Consultado en octubre de 2014]. Nonin GO2, achieve pulse oximeter; [una página]. Disponible en: <http://www.concordhealthsupply.com/Nonin-Go2-Achieve-Fingertip-Pulse-Oximeter-p/non-9570.htm>
46. **Nonin** [Internet]. EEUU: Nonin. [Consultado en octubre de 2014]. GO2 Achieve 9570; [una página]. Disponible en: <http://www.nonin.com/Finger-Pulse-Oximeter/Nonin-GO2-Achieve>
47. **iHealth Labs** [Internet]. Europa: iHealth Labs, Inc. [consultado en octubre de 2014]. Wireless pulse oximeter; [una pantalla]. Disponible en: <https://ihealthlabs.com/fitness-devices/wireless-pulse-oximeter/>
48. **Contec** [Internet]. China: Contec. [Consultada en octubre de 2014]. Pulse oximeter CMS50DL; [una pantalla]. Disponible en: http://www.contecmed.com/index.php?page=shop.product_details&flypage=flypage.tpl&product_id=128&category_id=7&option=com_virtuemart&Itemid=592
49. **Nonin**. Purelight SpO2 sensors [Internet]. EEUU: Nonin. 2005; [consultado en octubre de 2014]. Disponible en: <http://www.nonin.com/documents/PureLight%20Sensors%20Brochure.pdf>
50. **Cal-Med Hawaii** [Internet]. Honolulu: Cal-Med. [Consultado en octubre de 2014]. Nonin Xpod oximeter reusable ear clip; [una pantalla]. Disponible en: <http://www.calmedhawaii.com/product/DB8000Q>
51. **Free Wavz** [Internet]. EEUU: FreeWavz. [Consultado en octubre de 2014]. Disponible en: <http://www.freewavz.com>

52. **One Gadget** [Internet]. Rusia:One Gadget. [Consultado en octubre de 2014]. Freewavz; [una pantalla]. Disponible en: <http://onegadget.ru/og/29710>
53. **Masimo**, El ear sensor [Internet]. EEUU:Masimo. 2012; [consultado en octubre de 2014]. Disponible en: http://www.masimo.com/pdf/sensors/LAB7028A_Brochure_EI_Ear_Sensor.pdf
54. **Masimo** [Internet]. EEUU:Masimo. [Consultado en octubre de 2014]. El Ear sensor; [una pantalla]. Disponible en: <http://www.masimo.com/El-ear-sensor/>
55. **Chang P, Sánchez Y, Rodríguez Pellecer R**. Dermatitis observadas en una Unidad de Terapia Intensiva. Dermatología CMQ [Internet]. 2014 [consultado en junio de 2016]. Vol. 12(3):165-171. Disponible en: <http://www.medigraphic.com/pdfs/cosmetica/dcm-2014/dcm143b.pdf>
56. **Igogo** [Internet]. España:Igogo; [consultado en agosto de 2016]. Digital dedo oxímetro de pulso; [una pantalla]. Disponible en: <http://www.igogo.es/product340054.html>
57. **Nguyen M**. How product design determinates the succes of a wearable device. Wearable Technologies [Internet]. 23 de noviembre de 2015 [consultado en mayo de 2016]. Disponible en: <https://www.wearable-technologies.com/2015/11/how-shape-and-colour-work-with-the-success-of-a-wearable-device/>
58. **Trubat L**. Lesia Trubat's ballet shoes ellectronically trace the movement of dancers. 24 de octubre de 2014; [consultado en agosto de 2016]. En: designboom [Internet]. Milan:designboom;1999; [una pantalla]. Disponible en: <http://www.designboom.com/design/lesia-trubat-e-traces-ballet-shoes-phone-app-10-24-2014/>
59. **Wilson M**. How the business world will make wearables mainstream. Co Design. 7 de enero de 2014; [consultado en agosto de 2016]. Disponible en: <http://www.fastcodesign.com/3024429/how-the-business-world-will-make-wearables-mainstream>
60. **UL LLC**. Wearable Technology Products: the path to certification and international market approval [Internet]. 2015 [consultado en junio de 2016]. Disponible en: <http://library.ul.com/wp-content/uploads/sites/40/2015/04/148745169.pdf>
61. **Wearable Technologies** [Internet]. San Francisco: Wearable Technologies; [consultado en mayo de 2016]. About; [una pantalla]. Disponible en: <https://www.wearable-technologies.com/about/>

62. Butcher M. The Zenta wrist-wearable tracks your mental health, not just physical. Tech crunch. 20 de junio de 2016; [consultado en agosto de 2016]. Disponible en: <https://techcrunch.com/2016/06/20/the-zenta-wrist-wearable-tracks-your-mental-health-not-just-physical/>
63. Bluetooth [Internet]. Kirkland: Bluetooth SIG; [consultado en mayo de 2016]. Bluetooth low energy; [una pantalla]. Disponible en: <https://www.bluetooth.com/what-is-bluetooth-technology/bluetooth-technology-basics/low-energy>
64. Christianedo. ¿Cómo alargar la vida de las baterías de ion de litio?. 16 de marzo de 2011; [consultado en agosto de 2016]. En: Taringa! [Internet]. [Lugar desconocido]:Christianedo; [una pantalla]. Disponible en: <http://www.taringa.net/posts/info/9717839/-Como-alargar-la-vida-de-tus-baterias-de-ion-de-litio-.html>
65. Luque S. Batería Li.lon vs LiPo: tipos de batería mellizos. AndroidPIT [Internet]. Septiembre 2015 [consultado en junio de 2016]. Disponible en: <http://www.androidpit.es/bateria-li-ion-vs-lipo-tipos-comparacion>
66. Reflexiona [Internet]. Barcelona:Reflexiona. 2013- [consultado en agosto de 2016]. Batería de polímetro de litio 6000mAh; [una pantalla]. Disponible en: <http://www.reflexiona.biz/shop/baterias/614--bateria-de-polimero-de-litio-400mah-.html>
67. TÜV-SÜD [Internet]. Alemania: TÜV-SÜD; [consultado en junio de 2016]. TÜV-SÜD presents new wearable devices certification mark; [una pantalla]. Disponible en: <http://www.tuev-sued.de/industry-and-consumer-products/news/tuev-sued-presents-new-wearable-devices-certification-mark>
68. PCH [Internet]. Cork:PCH; [consultada en agosto de 2016]. Manufacturing Solutions; [una pantalla]. Disponible en: <http://www.pchintl.com/our-platform/manufacturing-solutions/>
69. Bodhani A. Healthcare and wearable technology: monitoring the connected body. Engineering and Technology Magazine. 2015; [consultado en agosto de 2016]; Vol. 10(4). Disponible en: <http://eandt.theiet.org/magazine/2015/04/wearable-healthcare.cfm>
70. Kosir S. Wearables in Healthcare. Wearable Technologies [Internet]. 15 de abril de 2015 [consultado en junio de 2016]. Disponible en: <http://www.wearable-technologies.com/2015/04/wearables-in-healthcare/>

71. **Editorial.** Desarrollan un sostén que ayudaría a detectar el cáncer de mama en la comodidad de tu casa. Telemundo. 14 de marzo de 2016; [consultado en agosto de 2016]. Disponible en: <http://www.telemundo.com/mujer-de-hoy/2016/03/14/desarrollan-un-sosten-que-ayudaria-detectar-el-cancer-de-mama-en-la>
72. **Hocoma.** Valedo, user manual [Internet]. Suiza:Hocoma; [actualizado el 8 de abril de 2016; consultado en junio de 2016]. Disponible en: <https://www.valedotherapy.com/media/manual/VH-UM1.4-en-1604.pdf>
73. **Valedo** [Internet]. Suiza: Hocoma; [consultada en junio de 2016]. Disponible en: https://www.valedotherapy.com/de_en/
74. **Sensoro Therapy** [Internet]. Suiza:Hocoma; 2015 [consultado en agosto de 2016]. Disponible en: <https://www.sensorotherapy.com>
75. **Hocoma** [Internet]. Suiza:Hocoma; [consultado en agosto de 2016]. Moving you for a healthy back-Valedo; [una pantalla]. Disponible en: <https://www.hocoma.com/usa/us/news-and-events/valedo-insights/valedo-insights-2014-01/moving-you-for-a-healthy-back-valedor/>
76. **Neurometrix, Inc.** Quell, user manual [e-book]. Waltham(MA):Neurometrix, Inc.; 2015 [consultado en junio de 2016]. Disponible en: <https://www.quellrelief.com/quell-user/>
77. **Porges S.** Review: Can this wearable device really zap away chronic pain?. Forbes. 8 de abril de 2016; [consultado en agosto de 2016]. Disponible en: <http://www.forbes.com/sites/sethporges/2016/04/08/review-can-this-wearable-device-really-zap-away-chronic-pain/#66622fb95d60>
78. **Quell** [Internet]. Waltham(MA)Neurometrix, Inc.; [consultada en junio de 2016]. Disponible en: <https://www.quellrelief.com>
79. **Vitalconnect** [Internet]. California:Vitalconnect; 2011 [actualizada el 29 de febrero de 2016; consultada en mayo de 2016]. Disponible en: <http://www.vitalconnect.com>
80. **Vital Connect,** HealthPatch instructional video [video en internet]. Patterson Brian J. 30 de diciembre de 2013; [consultado en junio de 2016]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=uYQgH-wRlyM>
81. **Editores.** Vital Connect HealthPatch MD continuous vitals monitor cleared for home use. Med Gadget. 2 de septiembre de 2014; [consultado en junio de 2016]. Disponible en: <http://www.medgadget.com/2014/09/vital-connect-healthpatch-md-continuous-vitals-monitor-cleared-for-home-use.html>

82. Health care originals [Internet]. Nueva York: Health care originals; 2013 [consultada en junio de 2016]. Disponible en: <http://healthcareoriginals.com>
83. BZ Design [Internet]. Nueva York: BZ Design, Inc.; 2015 [consultado en agosto de 2016]. Adamm; [una pantalla]. Disponible en: <http://www.bzdesign.com/portfolio-item/adamm/>
84. Wikimedia commons. Al extrusion blanks [Internet]. [Lugar desconocido]: Swoolverton; 17 de marzo de 2010; [última actualización 30 de julio de 2011; consultado el 7 de septiembre de 2016]. Disponible en: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Al_extrusion_blanks.jpg
85. Modjarrad K, Ebnesajjad S. Hanbook of Polymer Applications in Medicine and Medical Devices [e-book]. Oxford: William Andrew; 2014.
86. AliExpress [Internet]. [Lugar desconocido]:AliExpress; [consultado el 7 de septiembre de 2016]. Presión arterial; [una pantalla]. Disponible en: <https://es.aliexpress.com/item/100-Brand-New-Double-Dual-Head-Functional-Professional-Stethoscope-High-Quality-Medical-Estetoscopio-Free-Shipping/32258177210.html?spm=2114.43010608.4.2.nUi5YZ>
87. Centroplast [Internet]. Alemania:Centroplast. [consultado el 7 de septiembre de 2016]. Presión arterial; [una pantalla]. Disponible en: <http://www.centroplast.de/en/produkte/pp-ht-centrolab/>
88. Nextmed [Internet]. Hidalgo: Nexmed. [consultado el 7 de septiembre de 2016]. Disponible en: <http://www.nextmed.mx/>
89. Miller L. Why Shrink-wrap a cucumber?: The complete guide to environmental packaging. Londres: Laurence King Publishing; 2012.
90. Oxford University Innovation [Internet]. Oxford: University of Oxford. [Consultado el 7 de septiembre de 2016]. Radiopague polyethylene for visualisation of medical impacts; [una pantalla]. Disponible en: <http://innovation.ox.ac.uk/licence-details/radiopague-polyethylene-for-the-visualisation-of-medical-implants/>
91. Autor desconocido. 144. Poliéster termoplástico: características, propiedades y aplicaciones. [consultado el 4 de septiembre de 2016]. En: Ciencia de los materiales [Internet]. [Lugar desconocido]: Ciencia de los materiales; [una pantalla]. Disponible en: <http://cienciaymateriales.blogspot.mx/2013/04/144-poliester-termoplastico.html>

92. Trend technologies [Internet]. Irlanda: Trend technologies limited. [Consultado el 7 de septiembre de 2016]. Medical; [una pantalla]. Disponible en: <http://www.trendtechnologies.ie/sectors-serviced-for-precision-injection-moulding/medical/>
93. Autor desconocido. 138. ABS: características, propiedades y aplicaciones. [consultado el 5 de septiembre de 2016]. En: Ciencia de los materiales [Internet]. [Lugar desconocido]:Ciencia de los materiales; [una pantalla]. Disponible en: <http://cienciaymateriales.blogspot.mx/2013/04/138-abs-caracteristicas-propiedades-y.html>
94. Autor desconocido. 137. SAN: características, propiedades y aplicaciones. [Consultado el 5 de septiembre de 2016]. En: Ciencia de los materiales [Internet]. [Lugar desconocido]:Ciencia de los materiales. Disponible en: <http://cienciaymateriales.blogspot.mx/2013/04/137-san-caracteristicas-propiedades-y.html>
95. Alibaba [Internet]. China:AEGEA. [Consultado el 7 de septiembre de 2016]. Luxurious medical emergency ABS hospital crash cart; [una pantalla]. Disponible en: https://www.alibaba.com/product-detail/AG-ET007B3-ISO-CE-Luxurious-medical_1560960372.html
96. Reyes Melo ME. Ingeniería y biomateriales. Ingenierías [Internet]. 2013 [consultado en junio de 2016]; Año XVI(58): 3-8. Disponible en: <http://www.ingenierias.uanl.mx/58/index.html>
97. Admin. I guarantee this device won't fail. 13 de septiembre de 2013. En: CapeRay [Internet]. CapeTown: CapeRay. 2010; [consultado el 7 de septiembre de 2016]; [una pantalla]. Disponible en: <http://www.caperay.com/blog/index.php/2013/i-guarantee-this-device-wont-fail/>
98. Enfisema pulmonar [Internet]. [Lugar desconocido]: Enfisema.net; [consultado el 17 de septiembre de 2016]. Oxigenoterapia; [una pantalla]. Disponible en: <http://enfisema.net/oxigenoterapia/>
99. Equipo de redacción A tu salud. EPOC. A tu salud [Internet]. 20 de mayo de 2016; [consultado el 17 de septiembre de 2016]. Disponible en: <http://atusaludenlinea.com/tag/epoc/>
100. Protostock [Internet]. Australia:Protostock; [consultado el 19 de septiembre de 2016]. LED rectangular; [una pantalla]. Disponible en: <http://www.protostack.com/led-lcd/rectangular-2x5x7mm/led-2x5x7mm-rectangular-waterclear-blue>
101. Texas Instruments. OPT101 Monolithic photodiode and single supply transimpedance amplifier [Internet]. Texas: Texas Instruments, Inc.; enero 1994 [actualizado en agosto 2015; consultado en junio de 2016]. Disponible en: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/opt101.pdf>

102. Octopart [Internet]. Nueva York:Octopart, Inc. [Consultado el 9 de septiembre de 2016]. Texas Instruments OPTIOIP-J; [una pantalla]. Disponible en: <https://octopart.com/optIOIp-texas+instruments-998554>
103. Arduino [Internet]. EEUU:Arduino; [consultado en agosto de 2016]. Arduino/Genuino UNO; [una pantalla]. Disponible en: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>
104. Likefigures. Human ear [Internet]. [Lugar desconocido]: like figures. [Consultado el 9 de septiembre de 2016]. Disponible en: <https://www.likefigures.com/human-anatomy/human-ear/>
105. Tu lesión [Internet]. España:Tu lesión. [Consultado el 9 de septiembre de 2016]. Mano y muñeca; [una pantalla]. Disponible en: http://tulesion.com/zonas_del_cuerpo-mano_y_muneca-.3php
106. Láser clipie [Internet]. España: Laser Clipie. [Consultado el 9 de septiembre de 2016]. Actualidad; [una pantalla]. Disponible en: <http://www.laserclipie.es/actualidad/>
107. Medline Plus. Lesiones y enfermedades del pie [Internet]. EEUU:NIH; [actualizado el 6 de julio de 2016; consultado en agosto de 2016]. Disponible en: <https://medlineplus.gov/spanish/footinjuriesanddisorders.html>
108. Humphrey LR. Modeling the Role of the foot, toes and vestibular system in human balance [Tesis]. Ohio: Ohio State University; 2009.
109. Foot: bones in humans [Illustration]. In Encyclopedia Britannica. Retrieved from: <https://global.britannica.com/gallery/image-gallery-the-human-skeletal-system/101314/Bones-of-the-foot-showing-the-calcaneus-talus-and-other>
110. Silva Castellanos CA, Muñoz Riaños JE, Garzón Alvarado DA, Landinez Parra NE, Silva Caicedo O. Diseño mecánico y cosmético de una prótesis parcial de mano. Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas [Internet]. 2011 [consultado en junio de 2016]; Vol.30(1):15-41. Disponible en: <http://eds.b.ebscohost.com.pbidi.unam.mx:8080/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=2&sid=d5dabad4-6b89-48c5-8a89-01311e1da7c4@sessionmgr102&hid=104>
111. Suarez C, Gil-Carcedo LM, Marco J, Medina JE, Ortega P, Trinidad J. Tratado de Otorrinolaringología y cirugía de cabeza y cuello [e-book]. Tomo III. 2da ed. España:Editorial Médica Panamericana; 2008.

112. Rue Gembon [Internet]. [Lugar desconocido]:Rue Gembon; [consultado en agosto de 2016]. Bahira Gold Farjjacket; [una pantalla]. Disponible en: <http://ruegembon.com/product/bahira-gold-earjacket>
113. Villanueva Sagrado M, Luy Quijada J. Una propuesta para el análisis del pabellón auricular, Estudio morfométrico. En: Villanueva Sagrado M. Morfología Facial, Estudios de población mexicana a través de fotografías digitales. México, D.F.:UNAM, Instituto de Investigaciones Antropológicas; 2010. p. 93-108.
114. Barone LR, director. Anatomía y fisiología del cuerpo humano [e-book]. Buenos Aires: Cultura Librera Americana S.A.; 2004 [consultado en agosto de 2016]. Disponible en: <http://www.colimdo.org/media/4277966/anatomofisiologia.pdf>
115. Scoutmob [Internet]. Georgia:Scoutmob; [consultado en agosto de 2016]. Silver Bar Earrings; [una página]. Disponible en: <http://scoutmob.com/p/Silver%20Bar%20Earrings>
116. James Gould-Bourn. Este dispositivo para tu oído traduce idiomas extranjeros en tiempo real. Boredpanda. 25 de mayo de 2016; [consultado el 20 de septiembre de 2016]. Disponible en: <http://www.boredpanda.es/traductor-pilot-tiempo-real-waverly-labs/>
117. Bulletproof [Internet]. Washington:Bulletproof Digital, Inc.; [consultado en agosto de 2016]. Heartmath Inner Balance sensor for iOS- lightning; [una pantalla]. Disponible en: <http://www.bulletproof.com/heartmath-inner-balance-sensor-for-ios-lightning>
118. Dopacio González Z. Wearable technologies helps you chill. Wearable Technologies [Internet]. 4 de diciembre de 2013; [consultado en junio de 2016]. Disponible en: <http://www.wearable-technologies.com/2013/12/wearable-technologies-help-you-chill/>
119. HeartMath [Internet]. [Lugar desconocido]: HeartMath. 2006; [consultada en junio de 2016]. Inner Balance; [una pantalla]. Disponible en: http://store.heartmath.com/innerbalance?_ga=1.170567910.774381016.1464720989
120. Cosinuss [Internet]. München: Cosinuss; [consultado en junio de 2016]. Disponible en: <https://www.cosinuss.com/en>
121. The Dash [Internet]. Alemania:Bragi; [consultada en junio de 2016]. Disponible en: <http://www.bragi.com>
122. Granit E. BitBite: Lose weight & improve your eating habits. Indiegogo [Internet]. [actualizado en abril de 2016; consultado en junio de 2016]. Disponible en: <https://www.indiegogo.com/projects/bitbite-lose-weight-improve-your-eating-habits#/>

123. Pulgano. La noción de mimesis en Aristóteles. [consultado el 7 de agosto de 2016]. En: Microfilosofía [Internet]. [Lugar desconocido]:Microfilosofía. [una pantalla]. Disponible en: <http://www.microfilosofia.com/2013/05/la-nocion-de-mimesis-en-aristoteles.html>
124. Chin A. Elaine NG: techno naturology. 29 de noviembre de 2010; [consultado en agosto de 2016]. En: designboom [Internet]. Milan:designboom; 1999; [una pantalla]. Disponible en: <http://www.designboom.com/design/elaine-ng-techno-naturology/>
125. Tu audífono [Internet]. Illinois: Tu audífono; [consultado en agosto de 2016]. Base 2P; [una pantalla]. Disponible en: http://tuaudifono.com/hearingaid/677/base_2p
126. Admin. Tecnología para entender al hablar con distancia y ruido. [consultado en agosto de 2016]. En: Audifonoss [Internet]. [Lugar desconocido]:Audifonoss; 2015; [una pantalla]. Disponible en: <http://audifonoss.com/tecnologia-para-entender-al-hablar-con-distancia-y-ruido/>
127. Centro Auditivo Moctezuma [Internet]. Ciudad de México:Centro Auditivo Moctezuma; [consultado en agosto de 2016]. RIC Micro; [una pantalla]. Disponible en: <http://oigabien.com.mx/producto/ric-micro/>
128. Ríos Jara I. Uso irregular de los auxiliares auditivos en adultos mayores con presbiacusia: síndromes geriátricos asociados [Tesis]. México, D.F.: UNAM, Facultad de Medicina, División de Estudios de Posgrado; 2015.
129. Autor desconocido. Daredroid 2.0 Cocktailmaking dress. [consultado en agosto de 2016]. En: v2_ [Internet]. Rotterdam:v2_;1998; [una pantalla]. Disponible en: <http://v2.nl/archive/works/daredroid>
130. Tatlisumak E, Sunay Yavuz M, Kutlu N, Asirdizer M, Yolery L, Aslan A. Asymmetry, Handedness and Auricle Morphometry. Int. J. Morpho [Internet]. 2015 [consultado en junio de 2016]. Vol. 33(4): 1542-1548. Disponible en: <http://www.scielo.cl/pdf/ijmorphol/v33n4/art57.pdf>
131. Ávila Chaurand R, Prado León LR, González Muñoz EL. Dimensiones antropométricas de población latinoamericana [e-book]. 2da ed. Guadalajara: Universidad de Guadalajara, Centro de Arte, Arquitectura y Diseño; 2007.
132. Cómo bajar de peso, el mito del metabolismo lento en personas obesas [video en internet]. Perder peso rápidamente. 24 de marzo de 2014; [consultado el 20 de septiembre de 2016]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=brSzJ4NNDWY>

133. Steren [Internet]. Ciudad de México: Steren; [consultado el 19 de septiembre de 2016]. Cable USB a micro USB de 1.8 m, blanco; [una pantalla]. Disponible en: <http://www.steren.com.mx/cable-usb-a-micro-usb-blanco-de-1-8-m.html>
134. ABC. Científicos explican por qué hay tan pocos zurdos en el mundo. ABC.es [Internet]. 29 de abril de 2012; [consultado el 20 de septiembre de 2016]. Disponible en: <http://www.abc.es/20120429/ciencia/abci-zurdos-poco-comunes-201204271336.html>
135. TextosCientíficos.com. Reciclado del ABS [Internet]. [Lugar desconocido]: Textos científicos. [Consultado el 12 de octubre de 2016]. Disponible en: <http://www.textoscientificos.com/polimeros/abs/reciclado-abs>
136. Enciclopediasalud.com. Alvéolo pulmonar [Internet]. [lugar desconocido]: Enciclopediasalud.com. [Consultado el 12 de septiembre de 2016]. Disponible en: <http://www.enciclopediasalud.com/definiciones/alveolo-pulmonar>
137. DefiniciónABC. Amorfo [Internet]. [Lugar desconocido]: DefiniciónABC. [Consultado el 12 de octubre de 2016]. Disponible en: <http://www.definicionabc.com/general/amorfo.php>
138. CCM [Internet]. [Lugar desconocido]: CCM Benchmark. [consultado el 12 de octubre de 2016]. Disponible en: <http://salud.ccm.net/faq/7874-anoxia-definicion>
139. National Heart, Lung, and Blood Institute. Apnea del sueño [Internet]. EEUU: NIH. [actualizado 20 de septiembre de 2012; consultado el 12 de octubre de 2016]. Disponible en: http://www.nhlbi.nih.gov/health-spanish/health-topics/temas/sleep_apnea
140. Departamento de Microbiología y Parasitología, Facultad de Medicina, UNAM. Candidiasis o Candidosis [Internet]. Ciudad de México: Dra. en C. Laura Rosio Castañón Olivares. [actualizado el 4 de enero de 2014; consultado en junio de 2016]. Disponible en: <http://www.facmed.unam.mx/deptos/microbiologia/micologia/candidosis.html>
141. Wikipedia. Capacidad Pulmonar [Internet]. [Lugar desconocido]: Wikipedia. [actualizado el 26 de septiembre de 2016; consultado el 12 de octubre de 2016]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Capacidad_pulmonar
142. Texas Heart Institute. Cianosis [Internet]. Texas: Texas Heart Institute. [Actualizado en agosto de 2016; consultado el 12 de octubre de 2016]. Disponible en: http://www.texasheart.org/HIC/Topics_Esp/Cond/cyanosis_sp.cfm

143. EcuRed. Código abierto [Internet]. Cuba: EcuRed. [Consultado en junio de 2016]. Disponible en: https://www.ecured.cu/Código_abierto
144. Espectrometría.com [Internet]. [Lugar desconocido]: Guillermo Pérez. [consultado el 12 de octubre de 2016]. Espectrometría ultravioleta visible; [una pantalla]. Disponible en: http://www.espectrometria.com/espectrometra_ultravioleta-visible
145. Oxford Dictionaries. Constreñir [Internet]. Oxford: Oxford University Press. [Consultado el 12 de octubre de 2016]. Disponible en: <https://es.oxforddictionaries.com/definicion/constrenir>
146. Manufacturing Terms. Copolímeros [Internet]. [Lugar desconocido]: Manufacturing Terms. [consultado el 12 de septiembre de 2016]. Disponible en: <http://www.manufacturingterms.com/Spanish/Copolymer.html>
147. Mimi. Difusión [Internet]. [Lugar desconocido]: Mimi. [Consultado el 12 de octubre de 2016]. Disponible en: <http://es.mimi.hu/medicina/difusion.html>
148. MedlinePlus. Edema [Internet]. EEUU: NIH. [Actualizado el 28 de septiembre de 2016; consultado el 12 de octubre de 2016]. Disponible en: <https://medlineplus.gov/spanish/edema.html>
149. Scribd [Internet]. [Lugar desconocido]: Gabriela Ramos Herrera. [Consultado el 12 de octubre de 2016]. Enfermedades crónicas y agudas; [una pantalla]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/59994900/Enfermedades-Cronicas-y-Agudas>
150. Doctoralia. Mamografía bilateral [Internet]. Murcia: Dr. José Ignacio Gil Izquierdo. [Consultado el 12 de octubre de 2016]. Disponible en: <http://www.doctoralia.es/pruebamedica/mamografia+bilateral-1031/pregunta/que-significa-mamas-en-condiciones-fibroadiosas-quistes-con-contenidos-ecogenicos-o-pequeno-228486>
151. Google. Fibrosis [Internet]. [consultado en junio de 2016].
152. Capítulo III: Fotodetectores [Tesis]. Sonora: Universidad de Sonora. [Consultado el 12 de octubre de 2016]. Disponible en: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/20426/Capitulo3.pdf>
153. Electrónica Unicrom. Fotodiodo [Internet]. [Lugar desconocido]: Electrónica Unicrom. [Consultado el 12 de octubre de 2016]. Disponible en: <http://unicrom.com/fotodiodo/>

154. DeCS. Fotopletismografía [Internet]. Brasil: Biblioteca Virtual en Salud. [Consultada el 12 de octubre de 2016]. Disponible en: http://decs.bvs.br/cgi-bin/wxisl66O.exe/decsserver/?lslsScript=../cgi-bin/decsserver/decsserver.xis&task=exact_term&previous_page=homepage&interface_language=e&search_language=e&search_exp=fotopletismograf%EDa
155. Macchi RL. Materiales Dentales [Ebook].4o edición. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana; 2007.
156. CISCO [Internet]. San José(EEUU):CISCO; [consultado en mayo de 2016]. Internet of the things [una página]. Disponible en: <http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/internet-of-things/overview.html>
157. Medline Plus. Necrosis [Internet]. EEUU: NIH; [actualizada el 14 de agosto de 2015; consultada en junio de 2016]. Disponible en: <https://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/002266.htm>
158. Wikipedia. Gasometría arterial [Internet]. [Lugar desconocido]:Wikipedia. [Actualizada el 29 de septiembre de 2016; consultada el 12 de octubre de 2016]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Gasometr%C3%ADa_arterial
159. Medline Plus. Sibilancias [Internet]. EEUU:NIH. [Actualizado el 5 de octubre de 2016; consultado el 12 de octubre de 2016]. Disponible en: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/003070.htm>
160. Manufacturing Terms. Sindiotáctico [Internet]. [Lugar desconocido]:Manufacturing Terms. [consultado el 12 de septiembre de 2016]. Disponible en: <http://www.manufacturingterms.com/Spanish/Syndiotactic.html>
161. Medline Plus. Vasoconstricción [Internet]. EEUU:NIH. [actualizado el 31 de enero de 2015; consultado en junio de 2016]. Disponible en: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/002338.htm>

OBSERVACIONES