

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO
UNIVERSIDAD DE CHILE



fau

Universidad de Chile
Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Escuela de Diseño

ANILLO DETECTOR DE HIPOXEMIA PARA TRABAJADORES DEL SECTOR INDUSTRIAL

Tecnología vestible como herramienta de monitoreo en medicina preventiva

Proyecto para optar al título profesional de Diseñadora Industrial

Claudia Andrea Valdivia Leiva
Profesor Guía: Rodrigo Díaz Gronow

Santiago, Octubre 2015



Universidad de Chile
Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Escuela de Diseño

ANILLO DETECTOR DE HIPOXEMIA PARA TRABAJADORES DEL SECTOR INDUSTRIAL

Tecnología vestible como herramienta de monitoreo en medicina preventiva

Memoria para optar al título profesional de Diseñadora Industrial

Claudia Andrea Valdivia Leiva

Profesor Guía: Rodrigo Díaz Gronow

Santiago, Octubre 2015

Abstract

El presente documento describe un proyecto de diseño instalado en el ámbito de la instrumentación para medicina preventiva, en escenarios donde se necesita una vigilancia de la salud en tiempo real, acorde al dinamismo de trabajadores en terreno. Actualmente, existen factores de riesgo en el entorno de trabajo difíciles de monitorear debido al requerimiento de equipamiento estacionario, contacto directo con la piel, y que el sujeto se encuentre en reposo; por lo que se presentan problemas de salud sin que se pueda rastrear temporal y espacialmente el origen de la condición médica. Considerando el caso de hipoxemia, la propuesta de diseño consiste en un anillo detector de oxígeno para trabajadores industriales en condiciones de alto riesgo, accesorio que se ajusta a la falange medial de la mano y resuelve la incorporación del sensado fisiológico continuo de oximetría a las actividades laborales. Esto a través de la adaptación de un dispositivo a un contexto de condiciones climáticas extremas, centrándose en el carácter portátil del accesorio (de mantenerse puesto). El objetivo del proyecto es generar un medio de monitoreo oximétrico continuo que permanezca físicamente asociado al usuario durante sus actividades. El proyecto se emplaza en la línea aplicada del diseño, en tanto que culmina con la propuesta y presentación de un producto, y utiliza métodos de exploración basados en el diseño contextual, de investigación cuantitativa y cualitativa para recolección y análisis de información del contexto; para su fase creativa, análisis y síntesis de estudio tipológico, y para su fase de desarrollo y diagnóstico la elaboración formal de prototipos y validación de campo. El resultado es un medio adosado a la morfología dinámica del cuerpo humano, capaz de integrar electrónica sin interferir con las actividades habituales.



Índice

PARTE I. DEFINICIÓN DEL PROYECTO

1.1. Planteamiento: Caracterización del tema.....	17
1.1.1. Marco contextual.....	
1.1.2. Antecedentes.....	
1.2. Fundamentos y Pertinencia del diseño.....	
1.2.1. Marco teórico e ideológico.....	
1.2.2. Fortalezas y posibilidades; Evidencias y herramientas.....	
1.3. Descripción del proyecto de diseño.....	
1.3.1. Caracterización de la problemática y propuesta.....	
1.3.1. Definición de objetivos y métodos.....	
1.3.2. Límites, alcances e impacto del proyecto.....	

PARTE II. DETERMINACIÓN DE LA PROPUESTA

2.1. Análisis de la situación actual.....	36
2.1.1. Estado del arte y estudio de referentes.....	
2.1.2. Análisis usuario-cliente-mercado.....	
2.2. Determinación del programa de diseño.....	
2.2.1. Desde los Criterios estratégicos de Diseño a los Requerimientos.....	
2.2.2. Identificación de restricciones, atributos y especificaciones técnicas.....	

2.2.3. Estudio de las variables del problema.....	
2.2.4. Entendiendo a la mano como un soporte.....	

PARTE III. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

3.1. Criterios de diseño y Conceptualización.....	52
3.1.1. Requerimientos del diseño.....	
3.1.2. Planteamiento de alternativas de solución.....	
3.1.3. Formulación de propuesta de solución a nivel conceptual.....	
3.2. Desarrollo de la solución.....	
3.2.1. Estudio de problemas a resolver.....	
3.2.2. Desarrollo de soluciones parciales.....	
3.2.3. Evaluación específica.....	
3.2.4. Desarrollo de soluciones formales.....	
3.3. Validación de las consideraciones finales y diseño de detalles.....	
3.3.1. Análisis comparativo en terreno.....	
3.3.2. Consideraciones de diseño de detalles.....	
3.3.3. Proceso de digitalización.....	

Resultados y discusiones.....	74
Glosario.....	78
Referencias.....	82





Introducción

El desarrollo de este proyecto se instaura en la temática de la prevención secundaria, la que se enfoca en detectar en ambiente de trabajo enfermedades o condiciones de salud desfavorables en las personas de manera precoz para poder tomar medidas de acción e impedir la afección que conllevaría a un peligro de accidente. A pesar de todos los avances en tecnologías de la información y comunicaciones que facilitan la vigilancia de individuos, el monitoreo de variables medioambientales con sensores especializados, y el manejo de grandes cantidades de información por avances en procesamiento digital de datos, todavía no se incorporan al área de prevención de riesgos soluciones de sistemas de sensado remoto como herramientas que apoyen la labor de identificación de riesgos dentro del ambiente laboral de manera más automatizada. Es así como el diseñar un sistema que se valga de los avances tecnológicos en estas áreas, como el uso de sensores y comunicación móvil contribuiría a la obtención de mayor cantidad de información referente al estado de salud de las personas en tiempo real. Los datos provenientes de las personas también son de utilidad en casos de riesgo en zonas de trabajo. Estos datos son llamados parámetros fisiológicos, o biomarcadores, y entregan a especialistas la facultad de interpretar los signos o síntomas que alertan a los encargados de seguridad de un estado que denota el desarrollo de un evento, paso determinante al momento de prevenir enfermedades laborales. La transferencia de estas tecnologías de sensado evitaría la prevalencia de los efectos causados por factores de riesgo físicos, químicos o biológicos.

Llevar el sensado a zonas de trabajo en terreno facilita a los que ejercen en áreas de salud ocupacional el reconocimiento de condiciones desfavorables puntuales, y a los trabajadores la oportunidad de ser chequeados constantemente sin necesidad de esperar atención en un policlínico ante emergencias inesperadas. El presente documento muestra el desarrollo de un producto que dota a los trabajadores de una herramienta capaz de ser utilizada como sistema de apoyo preventivo en tiempo real, y que permite facilitar la detección de información fisiológica a través de la entrega de datos recolectados del cuerpo del que lo porta. Los problemas de salud se ven mayoritariamente en el ámbito del sector primario, en las áreas del sector industrial y

en los denominados trabajos de alto riesgo, donde la exposición a estos es mayor. Se propone diseñar un dispositivo de monitoreo biomédico para trabajadores que permita recolectar datos de parámetros pertenecientes al sistema respiratorio, entendiendo que el monitoreo biológico entregaría información sobre el estado de la persona que trabaja en condiciones laborales con contaminantes y alteraciones en el aire del entorno laboral. El desarrollo de un dispositivo que se inserte apropiadamente en estos contextos indicaría el estado de la persona en lo que refiere al oxígeno disponible en la zona de trabajo, detectando hipoxemia, porcentaje que indica los niveles de oxigenación arterial. El proceso de detección se adapta de una técnica llamada oximetría, y el estudio de esta sienta los lineamientos para la incorporación del sensado al entorno.

En cuanto al proceso de diseño centrado en el usuario, la asociación de la tecnología de medición al trabajador en actividad refiere al problema de estar activo más que el tipo de actividad, ya que las condiciones del entorno en el que los trabajadores podrían necesitar de este monitoreo son variadas, principalmente en clima, modo operatorio y por existir tránsito entre zonas de trabajo. Por tanto, siendo una labor representativa de las dificultades del sector industrial, se trabaja con la minería, específicamente en su etapa de procesamiento. Así, la solución estratégica considera no solo la naturaleza tecnológica del accesorio para monitoreo, sino las prestaciones de uso dadas por la condición del trabajar para elaborar la propuesta.

1

DEFINICIÓN DEL PROYECTO

1.1. Planteamiento: Caracterización del tema

1.1.1. Marco contextual

El proyecto se enmarca dentro del ámbito de las tecnologías de información y comunicación (TICs) y los dispositivos generados para entregar mediante estas soluciones a los diversos escenarios en los que las personas se desenvuelven. La información es capaz de ser recogida y entregada a las personas, volviéndose una herramienta útil para la toma de decisiones en el quehacer humano. En la medida en que las personas requieren obtener y organizar más información, cobra mayor relevancia la utilización de las TICs tanto a nivel doméstico como industrial. Estas entregan la posibilidad de manejar y controlar situaciones de seguridad, logística, y otras que requieran de organizar y administrar elementos que no puedan ser detectados de forma directa. Dentro del contexto de seguridad laboral, las empresas del sector industrial se valen actualmente del procesamiento de información en distintas áreas organizacionales, dentro de las cuales se encuentra la seguridad laboral, que consta en la vigilancia del cumplimiento de medidas preventivas y gestión del riesgo asociado a las actividades que se realizan en el trabajo.

El concepto de TICs abarca los avances tecnológicos ligados a la transmisión, procesamiento y difusión de información de manera interconectada. Se espera que en el futuro resuelvan muchas problemáticas relativas al medioambiente, la ciudad, la gestión de recursos naturales, la agricultura, la salud, etc. (Universidad de Tokio, 2012). Actualmente es cada vez más frecuente el uso de computadores portables, Smartphones y Tablets, equipados cada vez con más mecanismos recolectores de información (cámaras, micrófonos, sensores lumínicos, GPS, acelerómetros). El último paso, impulsado en parte por la tendencia de vida saludable fitness, son las tecnologías llevables o vestibles (Wearable Tech), que integran estos sensores y sus plataformas a la indumentaria de uso cotidiano, como los equipos para el monitoreo de signos vitales o los Smart-watches que registran el movimiento de sus usuarios, e incluso textiles inteligentes y dispositivos modulares (sensores, procesadores e indicadores) capaces de resistir el paso por una lavadora, diseñados para integrarse a las prendas de vestir; han generado una mayor aceptación a “estar conectados”, un interés por tener más información a nuestro alcance gracias a una comprensión sobre los beneficios de tener un dispositivo portable.

Muchos de estos dispositivos pueden conectarse a internet, en lo que se ha llamado Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés). La transmisión de la información recolectada a través de internet permitiría procesarla centralizadamente para generar modelos de predicción de tráfico vehicular, respuesta a desastres naturales,

monitoreo de salud poblacional, etc. Es así como este proyecto es parte de una realidad emergente de innovación, en tanto que propone hacer uso de las tecnologías integrando estas al quehacer del trabajador y se alinea con el hecho de que “la computación ubicua y omnipresente se vuelve más y más tangible en varios escenarios de trabajo, tales como seguridad y salud”, como explica en Informe de estado del arte de Tecnologías de la Información y la Comunicación en Chile de CONICYT (CONICYT, 2012). En la sección de Áreas de investigación en TICs y su desarrollo en Chile.

Distintos escenarios laborales pueden beneficiarse en gran medida de estas tecnologías, al ser un sistema productivo que requiere la organización de numerosos actores en torno a múltiples actividades. En este contexto ya existen sistemas centralizados de monitoreo laboral que permiten llevar un control del desempeño de cada tarea de remota y centralizadamente. Este uso de la tecnología se potencia al integrar procesos automatizados a la cadena productiva, herramientas especializadas, robotización, programación de máquinas; las cuales pueden enviar información en tiempo real a través de IoT.

También existen, dentro de la salud integral y cuidados en el hogar de personas de tercera edad, con discapacidad o con enfermedades que requieren de supervisión, iniciativas que usan las redes inalámbricas y microcontroladores en dispositivos electrónicos programables, cuyo desarrollo proviene de la telemedicina. En el contexto anterior, los sensores integrados con IoT tienen gran potencial en tres áreas de la industria, a saber: en el área de la seguridad industrial, que se hace cargo de aquellas condiciones inseguras y la accidentabilidad asociada en las zonas de trabajo; la prevención de riesgos, aquella que monitorea, analiza y sistematiza los riesgos asociados a los factores del entorno laboral; y la higiene industrial, es la encargada de mantener un entorno de trabajo en condiciones de orden óptimas para la salud del trabajador.



Conjunto de áreas disciplinares orientadas al bienestar laboral

Fuente: Elaboración propia.

Según a la Organización Mundial de la Salud (OMS) la prevención de enfermedades se da en tres niveles. La prevención primaria se encarga de evitar que personas sanas adquieran patologías mediante procedimientos médicos, eliminación y control de riesgos, educación sanitaria, etc. La prevención secundaria implementa medidas de monitoreo para detectar la condición en etapas precoces y evitar que progrese. Por último, la prevención terciaria consiste en el tratamiento y rehabilitación de personas enfermas.

Los sectores en los que se da mayor hincapié a la seguridad y a la prevención son aquellos naturalmente peligrosos, ya sea por el entorno o por la maquinaria y herramientas involucradas. Las actividades económicas productivas extractivas o primarias, al igual que las industrias o secundarias, trabajan con recursos naturales; y a diferencia de las terciarias o de servicio, los ambientes de trabajo suelen ser más inhóspitos. Ejemplos de estas actividades son la agricultura, la industria forestal, la minería, la ganadería, la pesca, y la construcción, producción en industria, etc.

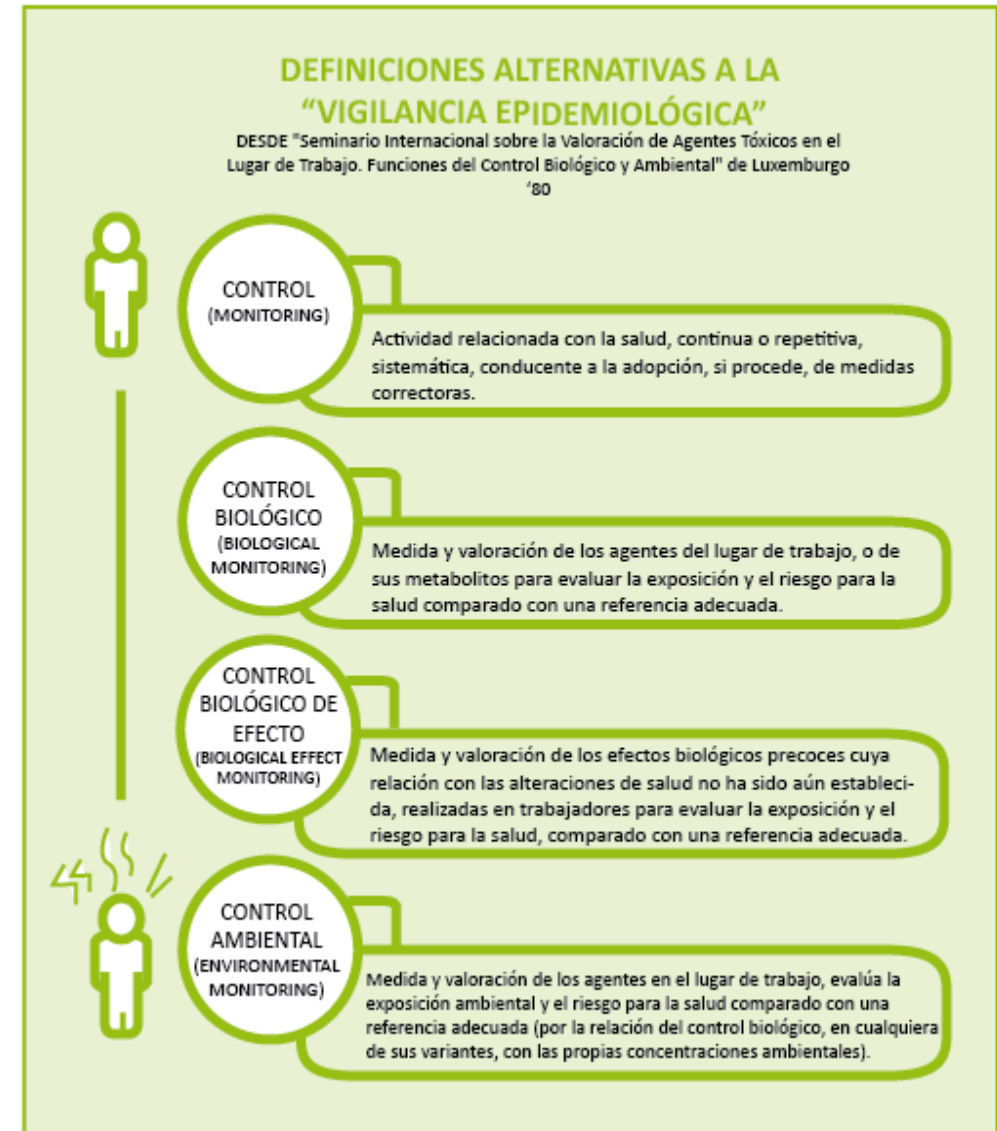
Adicionalmente existen trabajos que son considerados como de mayor riesgo. Ejemplos de situaciones de alto riesgo son: trabajo en altura geográfica o física, manejo de materiales peligrosos, trabajo en espacios confinados, trabajos en caliente / frío, aseguramiento de energías peligrosas, labores de rescate, entre otros. Para manejar adecuadamente los riesgos, las instituciones que se enfrenten a esas problemáticas deben seguir una Jerarquía de Control de Riesgos.



Pirámide ilustrativa de la constante acción preventiva contra los peligros en zonas laborales.

Fuente: www.Codelco.com

Por riesgo entendemos la presencia de elementos que pueden dañar al trabajador, pueden ser químicos, biológicos o físicos. Estos pueden afectar a las personas propagándose por distintos medios, como el aire, la tierra y los fluidos. Por ejemplo, un agente nocivo para la salud puede ser un aerosol, que es un sólido en suspensión, acarreado por el medio del aire. Este agente puede tomar contacto con la persona en la zona de trabajo mediante vías de ingreso naturales, penetrando la piel y las mucosas por contacto o por aspiración. Los daños pueden ser clasificados de acuerdo a su mecanismo de acción: por exposición aguda o crónica, de consecuencias transitorias o permanentes, estable o progresivo, sintomático o asintomático, de signos específicos o inespecíficos, etc.

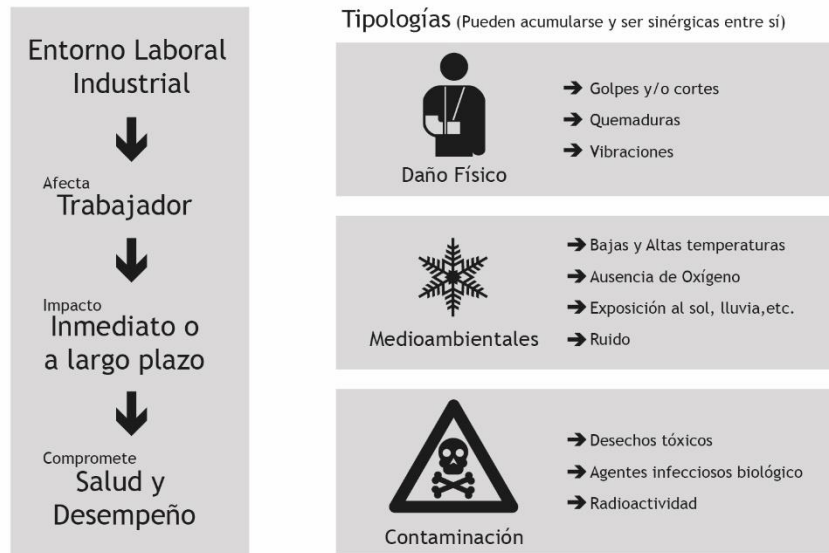


Esquema explicativo de los tipos de monitoreo según profundidad de análisis en el humano.

Fuente: Elaboración propia.

La medición de los factores de riesgo se realiza detectando agentes en el medioambiente o en el organismo del trabajador. Estos elementos se encuentran midiendo, dentro del organismo, sustancias llamadas biomarcadores, que indican un estado biológico alterado. Su detección se ve dificultada por la rapidez del procedimiento de muestreo, y por la accesibilidad a la muestra, ya sea mediante una técnica invasiva (que penetre físicamente el cuerpo para obtener una muestra interna) o no invasiva (superficial radiante, superficial de contacto).

Factores de Riesgo en Actividades Industriales



Tipos de riesgos y formas en que afectan al trabajador.

Fuente: www.ingenieriaindustrialonline.com

Los daños causados por factores de origen físico suelen mostrar signos a nivel tóxico, a diferencia de los factores químicos y biológicos, asociados principalmente a envenenamientos, intoxicaciones u otras afecciones cuya detección precoz es difícil a menos de que se recurra a técnicas invasivas, las cuales suelen requerir análisis en laboratorio para entregar resultados.

El monitoreo biológico de efecto, junto con otras medidas, son herramientas de prevención tanto primarias como secundarias. Las actividades de monitoreo consisten en fichas de seguimiento, rondas de supervisión y otros procedimientos asociados a la detección y mitigación de los riesgos. La mayoría de estas solo promueve la concientización de peligros, por lo que la identificación y gestión de los riesgos no es cubierta. La prevención secundaria es comparativamente un campo de aplicación incipiente respecto de la prevención primaria, que comprende la mayoría de las iniciativas preventivas implementadas en las zonas de trabajo hoy en día (inducciones, fichas, etc.).

El monitoreo como herramienta preventiva aporta en la toma de decisiones y mejora el acceso a información sobre el desarrollo de enfermedades profesionales (deterioro lento y progresivo de la salud del trabajador) y accidentabilidad ligada a factores de riesgo que afectan a la salud. Sin embargo, dado que los efectos a la salud causados por estos factores suelen generar condiciones patológicas en un lapso de tiempo mayor al de un accidente, para que se desarrolle alguna condición, el trabajador debe estar expuesto a un mayor tiempo o dosis. En este aspecto, la gestión de riesgo requiere de una labor de higiene industrial de mayor cuantificación, ya que las alteraciones biológicas causadas por un agente suelen presentarse en grupos de trabajadores. Si bien hoy en día se tiene un listado de enfermedades ocupacionales, estas no son tan fáciles de controlar como la presencia de riesgos en seguridad. Estas pueden clasificarse según la incidencia y prevalencia que poseen, considerando su letalidad, severidad y remisión.

Condiciones laborales del trabajador minero

Dentro de las actividades productivas a nivel nacional, la minería es una de las que se realiza en condiciones más extremas, considerando factores climáticos, la utilización de maquinaria pesada (equipos fijos y móviles) y la presencia de elementos nocivos producto de las operaciones en faena. Es el área productiva que más precisa del control biológico, como indican la solicitud de los diputados de la implementación de planes preventivos de enfermedades profesionales en este rubro en septiembre del 2013, donde se aclaró que la industria minera “presenta el mayor número de enfermedades profesionales, principalmente las que dicen relación con la exposición (...) que afecta al organismo de diversas maneras” (Cámara de diputados de Chile, 2013).

Comprende una gran cantidad de procesos asociados a la explotación de la tierra, al procesamiento y transformación de sustancias mineralógicas, mediante procedimientos piro e siderometalúrgicos; tanto en espacios cerrados (galpones, galerías y espacios subterráneos) como en lugares abiertos. Cada proceso esta asociado a múltiples perfiles laborales y muchos de estos trabajadores realizan tareas de alto riesgo.

Hay, también, desde hace un tiempo, conciencia en el rubro de la minería sobre la importancia de avanzar en materias de salud ocupacional. Un psicólogo del trabajo comenta en una conferencia que “en Chile se ha avanzado en temas de seguridad laboral particularmente en la minería (...) sin embargo, en materia de salud ocupacional o laboral hay varios pasos atrás todavía”, y sostiene que este retraso se debe a que “las enfermedades no son perceptibles fácilmente, por ende las medidas de prevención no son tan eficaces como para evitar accidentes” y que “lo que debemos ser capaces de hacer es tener una mirada preventiva y actuar con mayor proactividad” (Universidad de Valparaíso de Chile, 2011)..

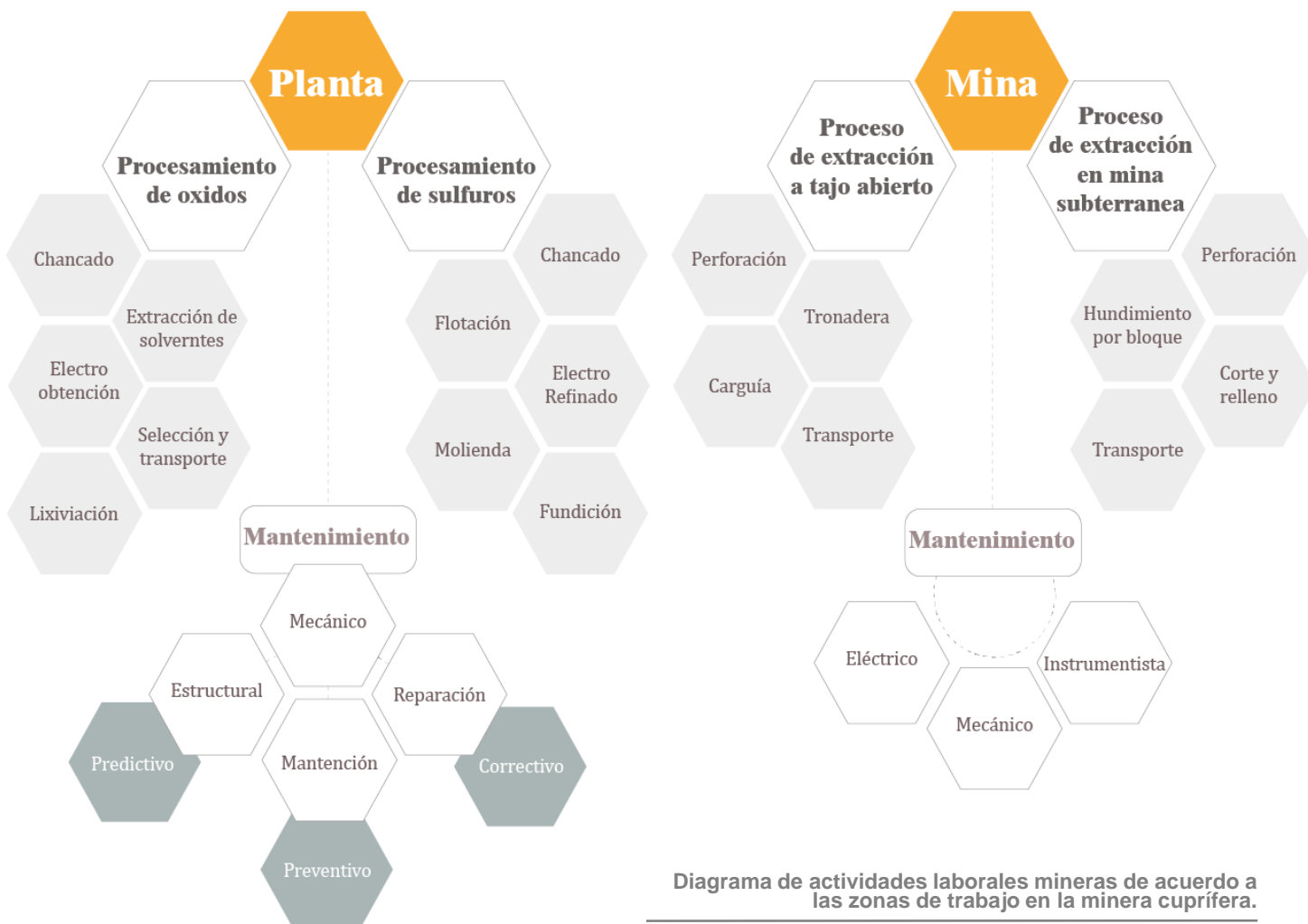


Diagrama de actividades laborales mineras de acuerdo a las zonas de trabajo en la minera cuprífera.

Fuente: Claudia Valdivia y Jazmín Peña.

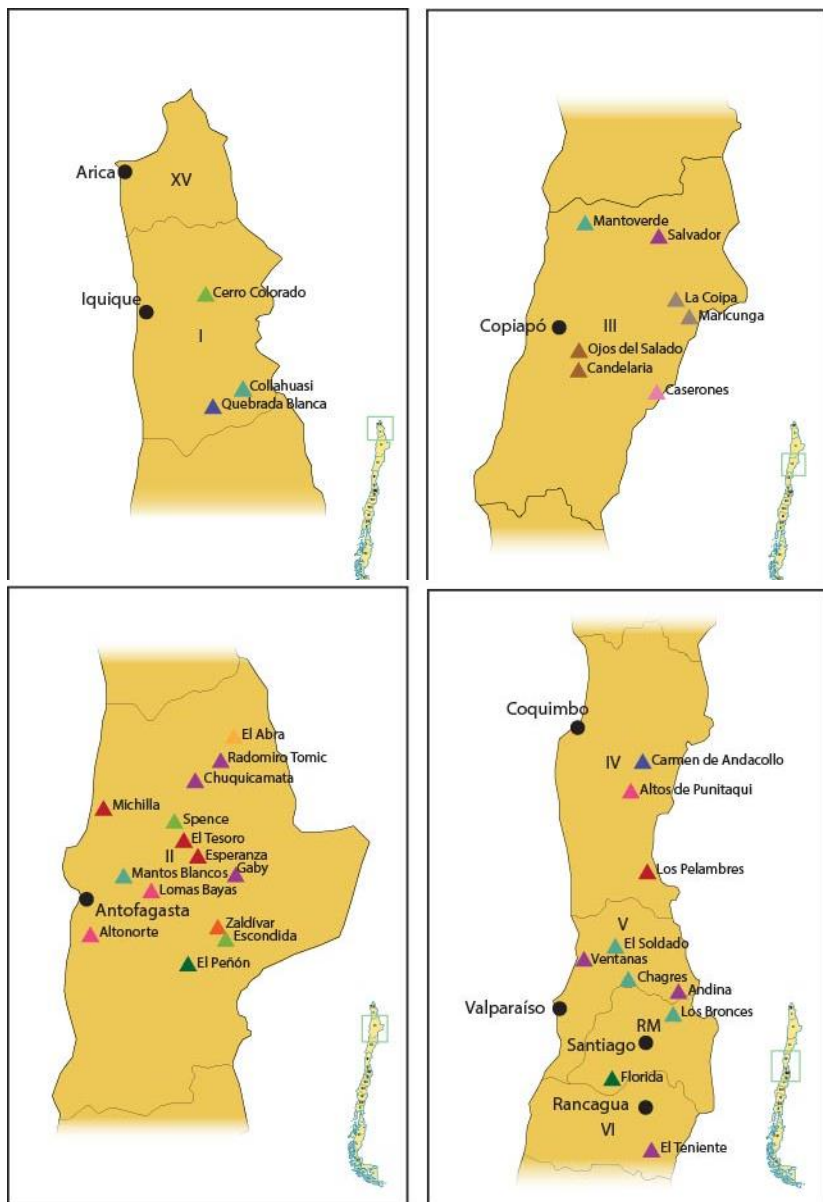
Se hizo un sondeo de los diferentes factores de riesgo presentes en minería, concluyendo que los factores de mayor interés están relacionados a las enfermedades ocupacionales de hipoacusia y silicosis, incluyendo condiciones fisiológicas perjudiciales como fatiga y somnolencia. Estas, junto a otras enfermedades, involucran estudios a largo plazo, tomas de muestra, y seguimiento del estado de la persona mediante técnicas de medición invasivas o de muestreo de orden representativa y no necesariamente real.

Si bien estos daños generan enfermedades ocupacionales, existen otros factores de riesgo que provocan condiciones patológicas que afectan a la persona sin necesariamente desarrollarse una enfermedad. Estas condiciones fisiológicas ofrecen posibilidades de monitoreo biológico con resultados a corto plazo, pudiendo algunas ser medidas de manera no invasiva, evitando la interrupción del quehacer del trabajador mientras se aplica la técnica de medición.

A partir del levantamiento de condiciones fisiológicas de lectura a nivel tópico, es decir, que solo requiriesen contacto con la piel o el aire exhalado del trabajador, ocasionadas por cualquier agente externo, se obtuvo una selección comprendida por asma, estrés térmico, hipobaría e hiperbaría, entre otros. Se detectó la emergencia de una nueva ley a partir del marco legal del contexto laboral en cuestión, sobre altura geográfica (sobre los 3000 metros), implicando esto una modificación en el decreto supremo del ministerio del trabajo N°594, que refiere a la ley 16744 del trabajo, donde se declaran los factores de riesgo presentes en entornos laborales y las medidas asociadas a su control y prevención.

Los factores de riesgo propios de los procesos mineros están asociados a agentes en forma de humos, vapores y polvos, y a condiciones físicas naturales de mayor radiación, frío, humedad, viento y variaciones térmicas. El trabajador minero que sea parte de este escenario está expuesto a la hipobaría intermitente crónica (HIC), que se refiere a la exposición frecuente y discontinua a estos cambios de presión.

Esta iniciativa da cuenta de nuestra realidad geográfica nacional, ya que estos cambios contemplan la disminución de presión atmosférica en zonas de gran altitud. Este fenómeno geográfico está presente en aproximadamente 14 de las faenas mineras pertenecientes a la gran minería (Sernageomin, 2013).



SIMBOLOGÍA EMPRESAS

	Anglo American
	Antofagasta Minerals Group
	Barrick
	BHP Billiton
	Codelco
	Kinross
	Freeport-McMoRan Copper & Gold
	Glencore
	Yamana Gold
	Teck
	Minera Lumina Copper Chile

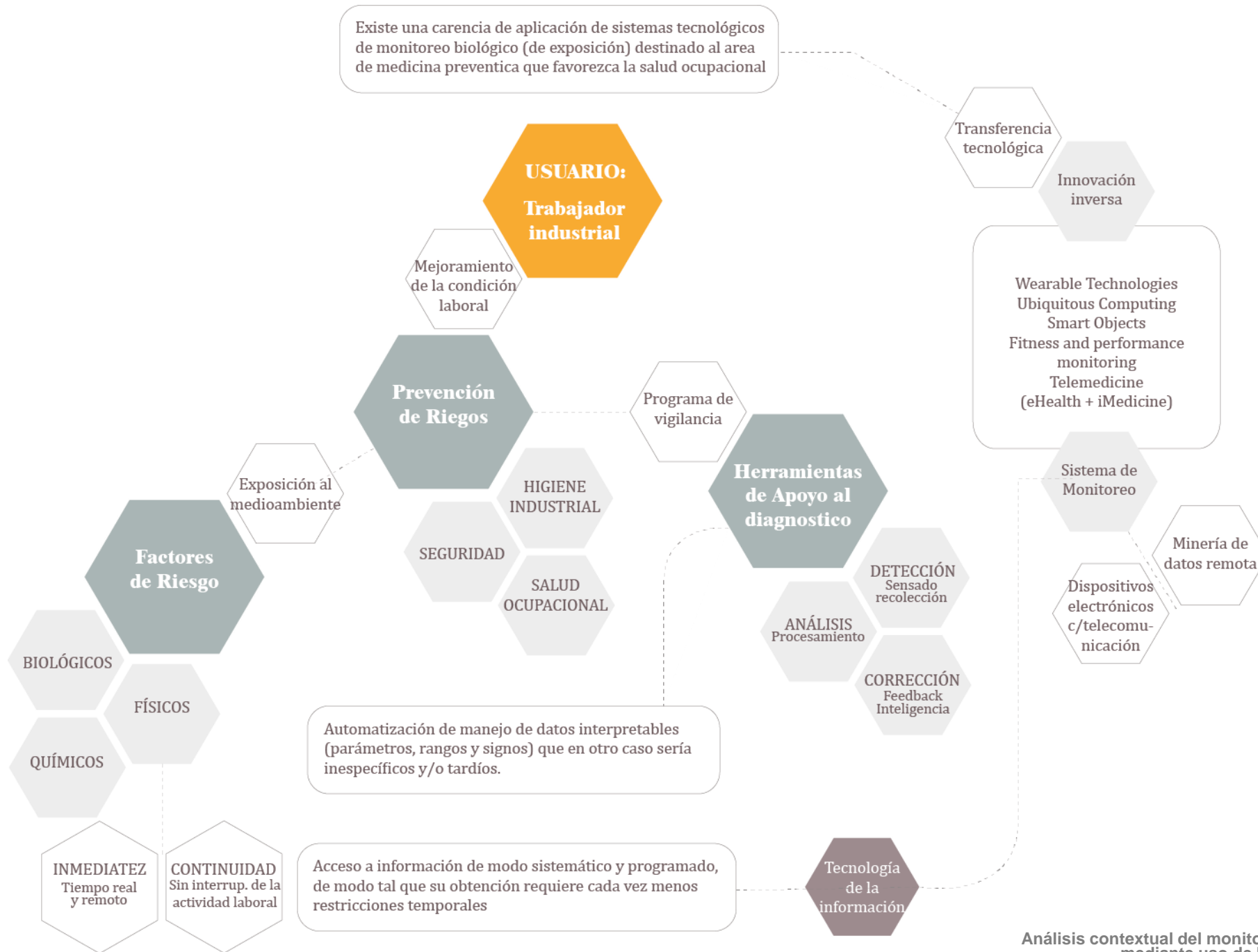
14 faenas mineras pertenecientes a la gran minería en el territorio nacional.

Fuente: Elaboración propia.



Fenómenos que disminuyen el oxígeno disponible y zonas de peligro en minería.

Fuente: Claudia Valdivia y Jazmín Peña.



Análisis contextual del monitoreo en trabajadores mediante uso de la tecnología digital.

Fuente: Claudia Valdivia y Jazmín Peña.

1.1.2. Antecedentes

Considerando que la hipobaría es un factor de riesgo habitual en trabajos de minería en altura y en actividades donde se necesita más oxigenación dada una carga física ardua, es necesario comprender que la disminución de la presión barométrica disminuye la fracción de oxígeno inspirado o el cuerpo no es capaz de inspirar mayores cantidades de oxígeno por las condiciones en las que se encuentra ya sea el ambiente o la persona. Esto es lo que puede generar hipoxia hipobárica en el primer caso, o hipoxia hipoxémica en el segundo. Esto, en términos biológicos significa la disminución del aporte de oxígeno a las células, limitando la producción de energía y enlenteciendo todos los procesos metabólicos celulares. El factor patogénico es la hipoxia, y el efecto fisiopatológico que altera la salud de las personas de diversas maneras es la condición de hipoxemia.

¿Qué parámetro fisiológico medir?

Hipoxemia, que indica la baja del contenido de oxígeno en el cuerpo midiendo la presión parcial del oxígeno en la sangre arterial.

¿Cómo se puede medir?

Detectando el porcentaje de oxígeno disuelto en el plasma o saturación de oxígeno en la sangre a través de la técnica de la oximetría de pulso

¿Por qué es valioso de medir?

Su tolerancia varía considerablemente entre individuos, y por ende su gravedad

Sus manifestaciones clínicas son inespecíficas y no se reconoce cuando baja el aporte de oxígeno a tejidos y órganos

La gravedad de los trastornos producidos es mayor mientras más rápida es la caída

Dado que no todas las personas aguantan tan bien esta deficiencia de oxígeno inspirable (rangos de tolerancia), los efectos que pueden darse varían considerablemente entre individuos. Además, no se manifiestan los síntomas como evidentemente ligados a la falta de oxigenación, por lo que no se adjudican a hipoxemia y suele pasar desapercibida, lo que impide reconocer cuando los efectos compensatorios, que suelen mitigar inicialmente la deficiencia, dejan de mantener el aporte de oxígeno a los tejidos del cuerpo. Por último, otro factor crítico a considerar de este caso de factor de riesgo es que a medida que pasa el tiempo con esta condición, es altamente probable que si se mantiene la situación perjudicial, que ocurran trastornos y efectos cada vez más severos. Por estos motivos es importante contar con un medio que permita el monitoreo de modo constante y de cuenta del % de oxigenación (saturación).

Cuadros resumen de criticidad de la condición hipoxémica.

Fuente: Elaboración propia.

Si los niveles de oxígeno son extremadamente bajos en la sangre aunque sea por un par de minutos, puede producirse muerte celular en los tejidos, afectando al sistema nervioso. El tejido cerebral tiene, junto con el miocardio, la más alta sensibilidad del organismo a la falta de oxígeno. Al ser el cerebro el órgano más vulnerable, el malfuncionamiento de este es el primer síntoma, y el daño cerebral es la complicación a largo plazo más común en sobrevivientes de episodios de hipoxemia profunda luego de exposición repentina bajo un 80%, aun en sujetos sanos. El límite de tolerancia para anoxia total es de cuatro minutos, pasado este lapso el daño es irreversible. Periodos más cortos de anoxia determinan la puesta en marcha de mecanismos compensatorios cuya eficacia depende de la rapidez de instalación de la hipoxia.

TIPOS DE HIPOXEMIA

Según Porcentaje de Saturación de Oxígeno en la Sangre (SpO2)

HIPOXEMIA LEVE

94%

90%

Disminución de la función cognitiva y agudeza visual
Sistema nervioso central: cefaléas, somnolencia, agitación, desorientación, náuseas y vómitos
Sistema cardiovascular: taquicardia, hipertensión leve
Dificultad para dormir y concentrarse

HIPOXEMIA MODERADA

89%

75%

Sistema nervioso central: letargo, reducción temporal de la conciencia, fatiga, desmayo, coma, alteraciones de la función motora y sensitiva
Sistema cardiovascular: bradicardia (descenso de la frecuencia de contracción cardíaca a 60) y hipotensión (90/60), arritmias
Hipertensión pulmonar y dificultad para respirar
A nivel renal, proteinuria y retención de sodio.

HIPOXEMIA SEVERA

< 75%

Edemas (acumulaciones de líquido) pulmonar y cerebral (mortales)
Policitemia (aumento de glóbulos rojos en la sangre) que propicia sangrado irregular (crónico)
Apnea central del sueño y agravamiento de la apnea obstructiva del sueño (crónicos)
Sistema nervioso central: convulsiones, daño cerebral permanente
Ataques cardíacos

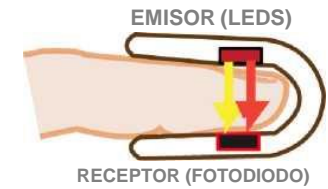
La medición oximétrica actual puede ser invasiva o no invasiva. El método invasivo consiste en tomar una muestra sanguínea que es llevada a laboratorio, pero los resultados del estado de la persona demoran horas en procesarse. Los métodos no invasivos demoran menos de un minuto, y funcionan con principios lumínicos logrados mediante componentes eléctricos contenidos en un pequeño aparato con forma de dedal el cual se encuentra cableado a una máquina que entrega la información porcentual de saturación de oxígeno. El aparato contiene componentes que toman las medidas y son llamados sensores, ya que sensan, o captan datos de el medio con el que entran en contacto, que en este caso es la sangre dentro de nuestros dedos.



Sistema de oximetría.
Fuente: www.tradekorea.com

Esta forma de medir la oxigenación es llamada oximetría optoelectrónica, y se puede dar por reflectancia o por transmitancia; ambos se basan en la emisión de luz y el análisis de ésta una vez ha atravesado el tejido del cuerpo, pero difieren en la posición de los sensores, mientras la reflectancia pone los sensores junto a los emisores, la transmitancia pone el sensor enfrente al emisor, lo que hace que la lectura sea más estable, por lo cual es la técnica de oximetría escogida para este proyecto.

El sensado de oximetría por transmitancia se basa en la utilización de dos LEDs y un fotodiodo capaz de detectar las luces emitidas por estos LEDs en el otro lado. Generalmente se utiliza un dedo pues es un tejido translúcido con buen flujo sanguíneo, otras partes del cuerpo utilizadas son el lóbulo de la oreja y el pie en el caso de los niños.



Tecnología optoelectrónica.
Fuente: Elaboración propia.

Las longitudes de onda emitidas por los LEDs son 660nm correspondiente a luz roja, que es absorbida por la hemoglobina sin oxígeno; y 940nm (en la mayoría de los oxímetros), luz infrarroja, absorbida por la hemoglobina oxigenada. La hemoglobina absorbe la mayor parte de cada frecuencia, dejando pasar la otra dependiendo de si lleva o no oxígeno. El fotodiodo, se ubica enfrente a los LEDs y recibe la luz remanente que ha pasado a través de los tejidos. Los LEDs se encienden de forma alternada, intercambiando entre rojo e infrarrojo.

La diferencia de absorción de luz roja e infrarroja permite calcular la relación entre hemoglobina oxigenada y desoxigenada y luego esa relación es llevada a porcentajes. La Saturación de Oxígeno (SaO₂) se expresa como porcentaje, (usando una proporción entre hemoglobinas, la oxigenada y la total), tal que,

$$SaO_2 = \frac{HbO_2}{Total\ Hemoglobina}$$

Cuando todas las moléculas de hemoglobina llevan oxígeno se dice que hay una saturación de 100%, esta saturación baja cuando la hemoglobina libera el oxígeno en los capilares venosos, donde el nivel de saturación es de 75%. Como la cantidad de sangre en los vasos sanguíneos varía a lo largo del ciclo cardíaco, y esto se refleja también la lectura, el ritmo cardíaco también puede calcularse separando los componentes AC y DC de la señal emitida por el sensor. La componente AC se refiere a la luz absorbida por las arterias y la DC es la luz absorbida por venas y tejidos del cuerpo. La parte pulsátil de la señal, al ser variable, se considera el componente AC, que varía conforme al ritmo cardíaco. La parte estable del gráfico corresponde al componente DC, la cantidad de luz absorbida por venas y tejidos del cuerpo que permanece estable, independiente del ritmo cardíaco.

Como hay un componente AC y uno DC en la señal recibida, la proporción R se define de la siguiente forma.

$$R' = \frac{\log(I_{ac})\lambda_1}{\log(I_{ac})\lambda_2} \quad SaO_2 \propto R'$$

En donde λ_1 y λ_2 representan las dos longitudes de onda utilizadas.



El instrumento utilizado se llama comúnmente saturómetro, y sus componentes son los dos LEDs (rojo e infrarrojo), un fotodiodo que convierte la luz recibida en corriente, que luego pasa por un filtro (compuesto en parte por resistencias y capacitores) y se convierte en voltaje para ser amplificada y tratada por otros medios de filtrado de señales. Un algoritmo de detección de peaks se utiliza para identificar el componente AC de la señal, usado para determinar el ritmo cardiaco.

La señal, interpretada en valores, es luego enviada a una interfaz gráfica de usuario que se encarga de mostrar la información. Existen sistemas de medición estacionarios y portables:

Los equipos de oximetría pueden contener el sistema de procesamiento junto al sistema de luces que realiza la lectura, o sensado, y pueden ser un equipo independiente y tener el par de sensores alejados del extremo que toma las mediciones (llamado sonda). Ésta cual incluye, por tanto, solo el cable, y no el sistema de procesamiento y visualización. El oxímetro de mano es el más pequeño, e incluye todo el sistema de funcionamiento en un cuerpo principal que actúa a modo de dedal

Ingeniería inversa desde muestras, posterior al levantamiento sobre estado del arte de saturómetros.

Fuente: Claudia Valdivia y Jazmín Peña.



Procedimiento de examinación médica en Policlínico de Minera Escondida con máquinas estacionarias.

Fuente: Elaboración propia.

1.2. Fundamentos y Pertinencia del diseño

1.2.1. Sobre el Marco teórico

Con el motivo de definir la amplitud de datos abarcable por este proyecto, y determinada por un análisis contextual, se pueden comprender los ejes principales de la problemática desde y según tres frentes: El uso de *wearables*, tecnologías que permiten integrar TICs a la vestimenta del usuario, recolectando y administrando datos del usuario para convertirla en información útil; la existencia de sensores de fácil utilización capaces de detectar cuadros de hipoxia en los trabajadores; y el elevado riesgo laboral al que algunos trabajadores se exponen en la actualidad, particularmente al caso de hipoxia.

Salud y seguridad laboral: El sensado como nueva herramienta de prevención

Respecto a lo que corresponde a seguridad laboral es necesario conocer cuales son los factores de riesgo a los que se exponen los trabajadores, las distintas categorías existentes y cuales son las consecuencias de estos cuadros. La aplicabilidad del proyecto depende de la cuantía de trabajadores afectados por el factor de riesgo estudiado y, por lo tanto, es importante conocerla. La prevención de enfermedades relacionadas con factores de riesgo laboral implicaría un ahorro considerable en medidas de mitigación posterior y en costos humanos. Esto implicará realizar una inducción al uso del medio diseñado y una curva de aprendizaje que podría ralentizar el proceso las primeras veces en que se utilice.

Informática y comunicación: El sensado como telemetría de datos fisiológicos

Existen elementos capaces de sensar diferentes parámetros fisiológicos y enviarlos a través de IoT con tal de centralizar esta información. Aun así, la fiabilidad de estos datos depende del método de sensado y por tanto del algoritmo instalado por el fabricante en sus componentes. Existen componentes de sensado que pueden adquirirse por separado especialmente para desarrollo de prototipos, lo que permitiría tener mayor control de los parámetros y procedimientos que el producto final ha de utilizar para la obtención y manejo de los datos. La velocidad de transmisión de la información también es un tema relevante sobretodo en ambientes con baja conectividad, pues una falla en la conexión a internet u otra red de comunicación echaría por tierra parte importante de las funciones de un dispositivo de este tipo, aunque en sí mismo se encuentre en buenas condiciones.

Diseño Centrado en el Usuario: El sensado como sistema electrónico ajustable al portador

Referido a la intervención de campos como estos desde la labor del diseño en este caso es necesario estudiar al trabajador final del producto, sin dejar de lado a la empresa, pues también será, como institución, usuario del sistema producto a nivel general, y las características del diseño deben responder a sus necesidades igualmente, esto es, en este caso en particular. La aceptación de uso se logra si interesa al usuario el objeto físico, por lo que gustos, valores y requerimientos deben encontrar respuesta en la solución diseñada, y con un mínimo de esfuerzo.

1.2.2. Fortalezas y posibilidades; Evidencias y herramientas

La aparición de nuevas tecnologías capaces de integrar IoT a la vida diaria y a distintos ambientes laborales deja una brecha abierta para el desarrollo de aplicaciones que puedan poner estas tecnologías al servicio de las personas. Ya que una de las labores del Diseñador Industrial es por excelencia la identificación de necesidades del usuario, es el profesional llamado a integrar y acercar las tecnologías con tal de crear soluciones efectivas a problemas reales y no solo integrar tecnologías porque es el rumbo que toma el mercado. Desde el punto de vista comercial, esto significa tomar un rol activo en la creación de productos en lugar de reaccionar ante las nuevas ofertas que van surgiendo.

Con el surgimiento de las TICs son más y más las actividades que van generando información capaz de ser interrelacionada para crear nuevo conocimiento y soluciones a los problemas de las personas. En este nuevo escenario el Diseñador Industrial debe saber administrar los flujos de información para crear nuevas herramientas, acordes a nuestra época, que den la capacidad de resolver problemas actuales a sus usuarios quienes ya no solo deben enfrentarse a un mundo físico, sino a un entorno diario cada vez más informatizado, en el cual los objetos interacción de nuevas formas con los usuarios e incluso entre ellos.

Dentro de este mismo punto es que cabe mencionar que el lenguaje de la interfaz y la interface de un objeto debe ser diseñada con fines comunicacionales que aporten al uso e interacción con los dispositivos electrónicos y esta es una tarea tanto más compleja que la de trabajar con un aparato sin tecnología electrónica. Al ser, a diferencia de los objetos de carácter maquina, objetos emergentes en la sociedad, su lenguaje formal adopta tendencias y no tiene todavía un sello que guíe estéticamente su diseño. Por este motivo es que el diseñador industrial debiese involucrarse en la generación de estas morfologías, y no dejar al diseñador gráfico o al ingeniero hacerse cargo de los otros aspectos funcionales y de interacción únicamente.

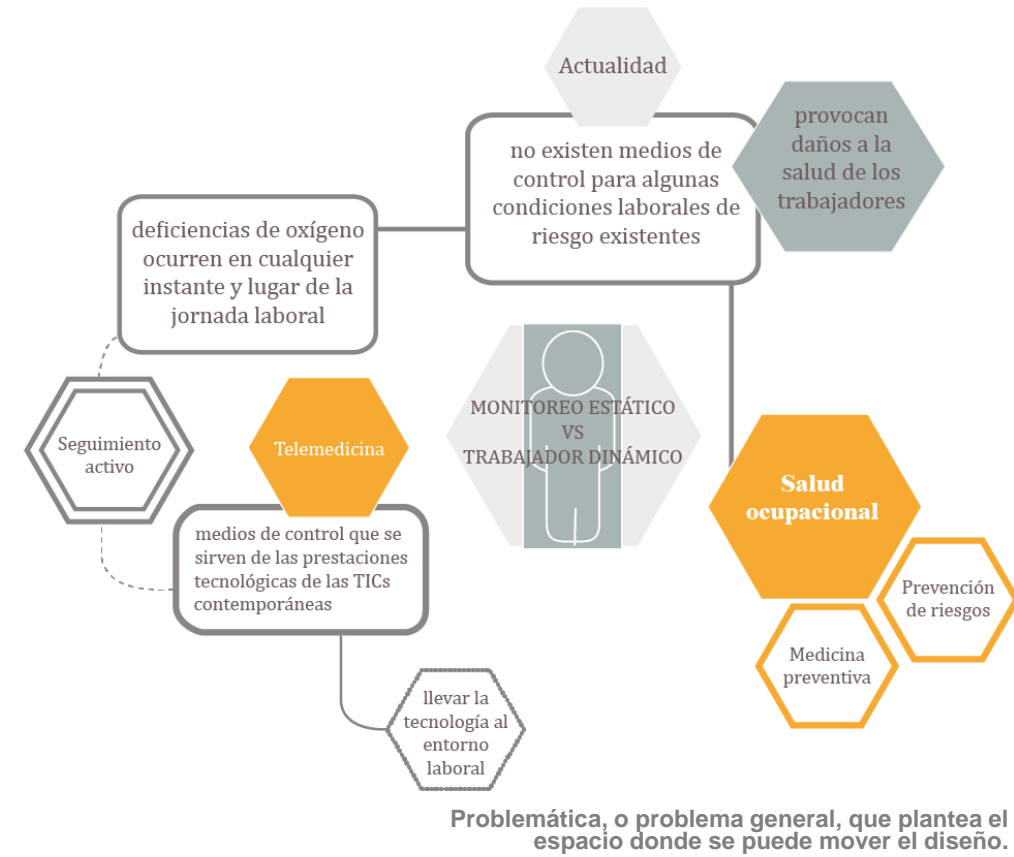
1.3. Descripción del proyecto de diseño

1.3.1. Caracterización de la problemática y propuesta

Actualmente existen condiciones laborales de riesgo, las cuales provocan daños a la salud de los trabajadores, para las que no existen medios de control. El problema bajo el cual se sitúa este proyecto es el de la falta de desarrollo, en el área de salud ocupacional, de un sistema que pueda utilizarse en el proceso de control de riesgos laborales en el ámbito de prevención de riesgos y medicina preventiva, similar al de la telemedicina. Esto es, que considere los signos fisiológicos de los trabajadores para detectar el instante en donde los trabajadores presentan condiciones perjudiciales de salud, detección realizable con las prestaciones de las tecnologías vestibles tanto como con las TICs. Estas permiten la detección y seguimiento sistemáticos de variables del medio registrado, y funcionan en base a procedimientos digitales de tecnologías de sensado, los cuales han demostrado su utilidad práctica dentro de ámbitos tanto organizacionales como domésticos, transmitiendo información a las personas acorde a necesidades determinadas.

Por consiguiente, es posible afirmar que hoy en día, en el área de control de riesgos existen condiciones laborales, capaces de provocar daño a la salud de los trabajadores, cuyos medios de control no se sirven de las prestaciones tecnológicas de las TICs contemporáneas. Esta brecha entre nuevas tecnologías y los medios de control en prevención de riesgos, es donde se sitúa la instalación de dispositivos de lectura biomédica como herramientas de monitoreo, que de ser abarcada apoyaría a reducir accidentabilidad y así evitar la prevalencia de daños a la salud en ambientes laborales.

Para la aplicación preventiva de tecnologías de sensado a entornos laborales, se identifica la necesidad de llevar la tecnología al entorno y al trabajador, entendiéndolo a este como operario que está realizando determinadas actividades. Los efectos relacionados a las deficiencias de oxígeno pueden ocurrir en cualquier instante de la jornada de trabajo, por lo que es conveniente un seguimiento activo, que detecte estos eventos en la medida en que puedan acontecer. Por ende, la tecnología capaz de entregar la medición de un trabajador en constante actividad, requiere de continuidad, además de un contacto directo con el cuerpo del usuario a sensar, dada la naturaleza propia de obtención de datos. Esto implica la adaptación de la tecnología a condiciones laborales de faena, en las que los trabajadores se desplazan de forma variable tanto en recorrido, velocidad de marcha y condiciones ambientales.



Fuente: Elaboración propia.

El desarrollo de un dispositivo para sensar saturación de oxígeno en los trabajadores del sector industrial minero parte por hacerse cargo de la incorporación de un sensado fisiológico activo del trabajador en condiciones acción. El incorporar un sensado fisiológico activo capaz de detectar hipoxemia en el trabajador en condiciones de actividad laboral de alto riesgo implica un diseño que trabaje la permanencia de este en su usuario. Para determinar formalmente el medio de control que se encarga de incorporar la tecnología, se comienza considerando la integración discreta. Esto es, sin irrumpir en la tarea ni alterar el estado de confortabilidad del usuario significativamente.

Por tanto, la condición implícita de portabilidad sutil guía una estrategia de solución basada en la envolverencia a modo de una membrana, entendiéndola como un elemento divisor y conjuntivo que contiene y acopla el sistema tecnológico de sensado a su soporte orgánico que es la falange del dedo del trabajador. Con el objetivo de propiciar un medio no disruptivo de monitoreo oxímetros que permanezca constantemente asociado al trabajador durante el ejercicio de las actividades del procesamiento de metales en la gran minería, el proyecto resuelve el adosamiento del medio de monitoreo móvil asimilándose a su superficie de contacto con la piel, respondiendo a sus deformaciones en la medida en que la morfología de la mano las genera durante la manipulación.

1.3.1. Definición de objetivos

Objetivo General:

Desarrollar un dispositivo no disruptivo de chequeo de oxigenación que permanezca constantemente puesto en los trabajadores mineros durante el ejercicio de las actividades laborales.

Objetivo Específico I

Determinar la manera física de asociarse que permita el funcionamiento del sistema de toma de oxigenación en actividades que involucren movimiento corporal.

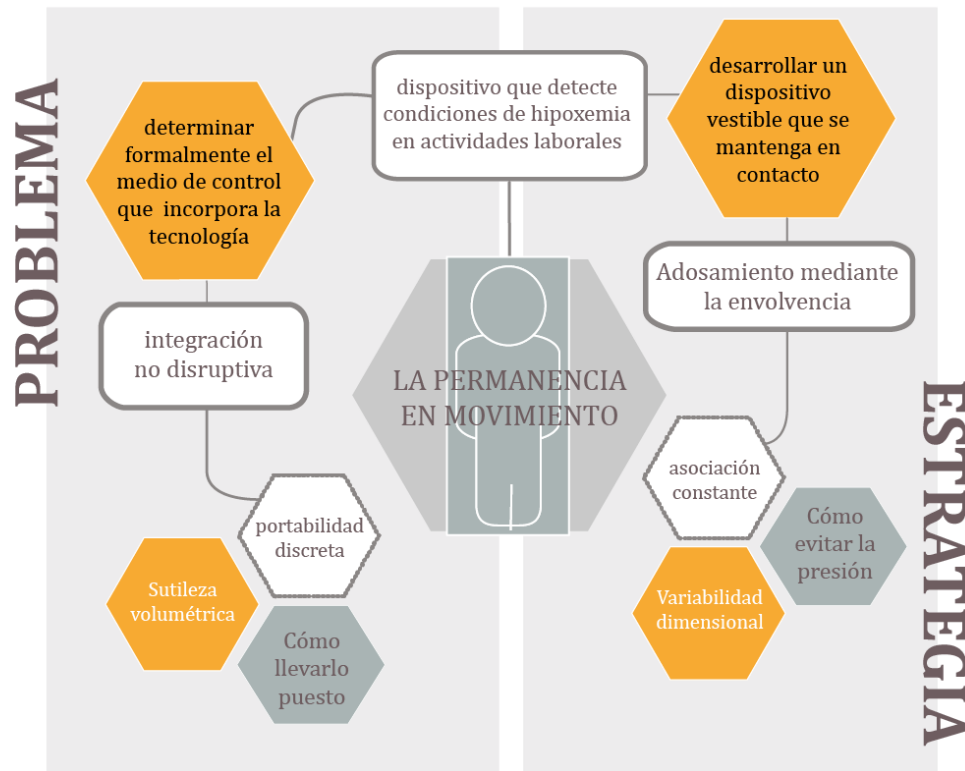
Objetivo Específico II

Identificar el modo de resolver la permanencia del dispositivo para chequeo de oxigenación en el cuerpo del usuario y en contacto con su piel.

Objetivo Específico III

Discriminar mediante validaciones de testeos las alternativas de desarrollo del dispositivo en su campo de uso.

A continuación, previo al desarrollo de la metodología experimental, se detallará qué actividades y tareas están asociadas a cada objetivo:



Conceptualización de las observaciones asociadas al problema y pautas para el desarrollo.

Fuente: Elaboración propia.

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un dispositivo no disruptivo de chequeo de oxigenación que permanezca constantemente con los trabajadores

OBJETIVOS

DETERMINAR LA MANERA FÍSICA DE ASOCIARSE QUE PERMITA EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TOMA DE OXIGENACIÓN EN ACTIVIDADES QUE INVOLUCREN MOVIMIENTO CORPORAL.

IDENTIFICAR EL MODO DE RESOLVER LA PERMANENCIA DEL DISPOSITIVO PARA CHEQUEO DE OXIGENACIÓN EN EL CUERPO DEL USUARIO Y EN CONTACTO CON SU PIEL.

ACTIVIDADES

1

Definir qué tipo de control de monitoreo requieren los entornos de trabajo que exponen al trabajador minero a riesgos de hipoxemia

Discriminar cuales zonas de trabajo en minería, en los distintos ámbitos de procesamiento de metales, presentan riesgos relativos a la oxigenación.

Caracterizar el modo operatorio de los usuarios y los elementos con los que se relaciona el trabajador en las actividades analizadas.

Proponer el nivel de información a gestionar que facilitaría el control, en tanto que transmisión, manejo y procesamiento de información, y restricciones condicionantes del contexto para el diseño a realizar.

2

Establecer condiciones de funcionamiento de la tecnología de chequeo de oxigenación y su aplicabilidad en las actividades a intervenir

Examinar la tecnología a utilizar en torno a sus capacidades de toma de señales y limitaciones técnicas.

Identificar la interdependencia entre los elementos que componen la tecnología a utilizar de modo de establecer opciones de reconfigurar los mismos.

Seleccionar la ubicación de los componentes que formarán parte del dispositivo en el cuerpo según las zonas en que se puede medir la variable fisiológica de oxigenación, ponderando el nivel de presión y calidad de funcionamiento de la tecnología (calidad de la lectura).

3

Configurar el espacio físico de uso del dispositivo según las relaciones físicas posibilitadas por las mismas dimensiones de la falange del dedo y sus límites (originados por sus movimientos)

Establecer los límites de contacto entre falanges acorde a los arcos del movimiento de flexión de la mano.

Analizar los cambios volumétricos de las transformaciones morfológicas de los dedos causados por la elasticidad de la piel.

Definir las dependencias de distribución espacial entre los componentes del sistema tecnológico y la superficie deformable del dedo.

1

Fijar criterios físicos que permitan mantener puesto el dispositivo, y aquellos que alteran esta condición de portabilidad

Identificar variables del entorno, del cuerpo y de las actividades que realiza el usuario que puedan alterar el posicionamiento: determinar que elementos interactúan con la zona a intervenir durante las actividades de la jornada laboral (a nivel manipulación), seleccionar las acciones críticas y fenómenos físicos asociados, tanto previniendo el retiro como fomentando la mantención del dispositivo.

Establecer las condiciones mínimas que logran la postura de ajuste apropiada entre perímetro de falange y perímetro interno del dispositivo que haría contacto con la piel: determinar las medidas implicadas en el calce; reconocer la presencia de tolerancia entre tamaños de las falanges y su implicancia en un tallaje de ajuste ideal.

2

Formular una estrategia de solución que resuelva la acoplabilidad constante

Desarrollar soluciones que atienden la deformación para lograr una adosabilidad por calce: definir el vinculo de similitud entre las cualidades de la piel y el anillo como base para la propuesta conceptual, desarrollar alternativas parciales de solución que resuelven las variables de contacto y distribución de los volúmenes principales del dispositivo.

3

Especificar criterios de usabilidad dirigidos a la constancia de uso por parte del usuario

Declarar las intervenciones por parte del usuario que podrían evitar la permanencia: especificar las instancias de análisis del modo operatorio y molestias asociadas al llevarla puesta, formular una lista de molestias asociadas al uso del dispositivo.

Demostrar el modo uso del anillo a través del lenguaje formal: considerar el estilo del contexto y del usuario final, esbozar posibilidades de transferir elementos formales que indiquen la correcta lectura de uso del anillo, incorporar a las aproximaciones de solución los elementos indicativos y simbólicos propuestos.

mineros durante el ejercicio de las actividades laborales.

DISCRIMINAR MEDIANTE VALIDACIONES DE TESTEOS LAS ALTERNATIVAS DE DESARROLLO DEL DISPOSITIVO EN SU CAMPO DE USO.

1

Comparar las propuestas formales sometiéndolas a pruebas de validación en campo de uso similar

Programar testeo de usabilidad para discriminar las variantes de propuesta formal seleccionadas a testeo de usabilidad: emplear parámetros de confortabilidad por apriete, medición de alteraciones en el tiempo de ejecución de la actividad y de movimientos relativos al reajuste del anillo.

2

Valorar la experiencia de uso para definir el diseño de detalle del anillo como producto

Sintetizar las observaciones de las validaciones en el ajuste de variables: especificar los cambios de diseño de detalles que atienden a las observaciones, plantear las condiciones de los escenarios posibles de continuidad del proyecto en torno a su carácter técnico productivo.

Esquema de objetivos y actividades del proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

1.3.2. Límites, alcances e impacto del proyecto

Alcances

Este proyecto tendrá como resultado el diseño de un producto capaz de ser producido en masa, a fin de aumentar el número de usuarios integrados a un mismo sistema-producto. Se contempla la necesidad de tres tallas del objeto aunque, en función del tiempo disponible, para efectos del desarrollo del proyecto se diseña una de esas tres tallas; considerando que el desarrollo de las otras dos consiste en adaptar las medidas del objeto diseñado.

Límites

Existen limitantes que han perfilado el resultado del proyecto. Primeramente considerando que el proyecto se desarrolla de forma semestral y con recursos estudiantiles, los materiales de trabajo contemplan el uso de Caucho Silicona, como sustituto de Silicona de Platino; además de bandas de resistencia de latex, materiales flexibles comprados y otros reutilizados, adhesivo termofundente, cables flexibles, un equipo de oximetría y numerosas sondas oximétricas. También se contó con el apoyo técnico de SoluNova, sociedad limitada, con experiencia en el rubro de minería como proveedor de soluciones, con algunos recursos disponibles para la investigación. La electrónica escogida garantiza su funcionamiento bajo condiciones de reposo y actividad moderada, lo cual cubre la mayoría de las actividades contempladas durante el uso del objeto. Si bien la finalidad del proyecto es facilitar la detección de trabajadores que presenten riesgo de desarrollar una enfermedad en particular, cabe señalar que el sistema de monitoreo no pretende reemplazar al personal humano en la atención y/o diagnóstico del paciente.

Sin descartar otros rubros a futuro, de momento se limita el contexto de uso final solo al de la minería, pues contempla el uso de Equipo de Protección Personal (EPP) obligatorio que protegería también al dispositivo; las condiciones en otras industrias no garantizan necesariamente la protección del dispositivo ante el ambiente (caídas, temperatura, golpes, impactos, humedad). Adicionalmente, la tecnología de los oxímetros más confiable por su estabilidad de lectura es la que ha sido incorporada al diseño, mas no permite lectura bajo condiciones extremas de temperatura, lo cual no restringe su uso en ambientes extremos para los cuales la zona del cuerpo en contacto se encuentre protegida. Esto dejaría fuera del rango de aplicación a labores en el área de fundición al igual que su aplicabilidad en turismo o deportes extremos, por ejemplo.

El objeto ha de entregar, durante su uso, un resultado de lectura cada 15 segundos aproximadamente, hasta que se agote su batería. Si bien, como parte del desarrollo se ha escogido una sonda oximétrica particular y se contempla el espacio y el alojamiento para el resto del sistema electrónico; tareas como la selección de componentes para el montaje de placas y la selección de batería según el cálculo de gasto energético no corresponden a las competencias del diseñador, por lo cual no se consideran como parte del proyecto. Esto no implica que no se haya considerado el espacio ni la forma para alojarlos como parte del objeto, las medidas consideradas corresponden a los elementos de mayor tamaño, con tal de incluir todo el espectro de tamaños disponibles, y pueden variar posteriormente cuando la selección de componentes definitivos se realice.

Suposiciones

Este proyecto de título se enmarca como parte de un sistema-producto que contempla el uso de varias unidades del objeto, conectadas a una central capaz de gestionar la información biométrica de múltiples usuarios a la vez y entregarla a un cliente quien debería poder programar la frecuencia de lectura, conformándose así una herramienta útil para prevenciones de riesgo en las distintas faenas. El modo de transmisión de datos sería variable; dependiendo de la capacidad y la cobertura de las redes inalámbricas de la faena, la transmisión podría hacerse a tiempo real o por paquetes de información que se descargarían cuando el usuario se encuentre en una zona iluminada por WiFi. Además los medios de transmisión de datos propios del sistema-producto también pueden estar sujetos a perfeccionamiento a medida que nuevos componentes salgan al mercado. Eventualmente se podrían integrar sensores que permitan identificar movimientos particulares de la mano, con fin de descartar lecturas tomadas bajo condiciones que no garanticen su fiabilidad (mano por sobre los hombros o sometidas a vibraciones).

Si bien se desarrolla una propuesta en torno al tallaje; originada por la relación de un accesorio al cuerpo humano, que exige en su calce el acoger diversas medidas del universo de usuarios; este proyecto contempla el desarrollo de una de estas tallas, siendo las otras extrapolables a futuro a partir de la información generada en el proceso. Se propone el uso de tres tallas, en comparación a la gran cantidad de tallas existentes en anillos de joyería, con tal de optimizar el proceso productivo. Este límite tecnológico productivo facilitaría la serialización del proceso de fabricación, ya que implica menos variaciones en las piezas.

La implementación de un dispositivo como este a gran escala permitiría avanzar en el monitoreo de variables físicas y medioambientales, dado que actualmente la atención médica y exámenes físicos de chequeo en el mundo laboral es generalmente semestral o cuando voluntariamente el trabajador asiste por algún problema que haya presentado, y las medidas preventivas fuera del ámbito de la seguridad consisten generalmente en la implementación de fichas diarias, rondas observacionales semanales y muestreos personales que simulan los aportes de sustancias o factores riesgosos mensuales. Por ende, la atención al estado de salud del trabajador no es continua, sino ocasional.

Impacto

El impacto inicial del desarrollo de este dispositivo, es la obtención de un elemento integrador del sensado de oximetría a las actividades habituales en faena, que detecta condiciones de salud desfavorables relacionadas a la hipoxia, en tiempo real. En el área económica, esto implica además la generación de la unidad mínima de soporte para el desarrollo del sistema-producto ya descrito.

En una escala mayor, de implementarse este elemento en una faena minera o escenario de trabajo similar, el impacto estimado, dentro del área de salud laboral, implicaría el aumento la entrega de información útil para la toma de decisiones relacionada con la gestión de riesgos y por lo tanto es posible esperar una baja en la tasa de accidentabilidad relacionada a problemas por hipoxia. El nivel de impacto que permite el desarrollo de este proyecto se puede cuantificar con indicadores como la cobertura porcentual de la muestra según el tallaje de la indumentaria; número de proyectos de naturaleza similar que surgirán dentro de los próximos 3 años del lanzamiento piloto del producto como servicio.

2

DETERMINACIÓN DE LA PROPUESTA

2.1. Análisis de la situación actual

2.1.1. Estado del arte y estudio de referentes

Existen numerosos referentes que monitorean salud, los cuales se pueden clasificar de acuerdo a la complejidad que tienen para analizar los estados de salud, la precisión de análisis que evalúa el estado de salud y la cobertura a nivel comunicacional con la que se ofrecen las evaluaciones de los análisis, entre otros. En el primer caso, los dispositivos pueden ofrecer altos niveles de complejidad en programación al trabajar datos, pero no necesariamente son certeros en sus evaluaciones, y suelen estar en constante mejoramiento, mientras que la última categoría mencionada puede monitorear en y desde diversos lugares gracias a red con varios dispositivos comunica sus análisis, algunos que establecían una relación las redes de comunicación.

A continuación se desglosan los referentes destacados de acuerdo a los aspectos referenciados:

- Empática: dispositivo llevable en forma de pulsera que monitorea una serie de parámetros para determinar niveles de estrés.
- Digital pain relief: parche flexible y pequeño que adosado a la piel permite activar estimulación nerviosa transcutánea TENS por descargas eléctricas en determinadas condiciones.
- Nokia ecosensor: celular-concepto que ofrece detectar mediante una plataforma móvil como el celular las condiciones medioambientales de exposición a determinados factores, registra esto en un foro, muestra indicadores personales y colectivos por la web, y localiza en un mapa geográfico referencial todos los datos levantados según locación de cada registro.
- Earlysense: dispositivo laminar que detecta en tiempo real el estado de pacientes sin tener dispositivos en contacto directo con la persona gracias a un medio común, que es la cama de un paciente en hospitales.

De estos se diferencia el que el último referente listado permite un contacto sin ataduras, de un contacto libre con la persona monitoreada, evaluándola sin restringirla en su actividad y movimiento, y que tanto el primero como el segundo referente listados tienen, además de su cadena de detección, transmisión y análisis de datos, la capacidad de ser proactivos en tanto que reaccionan dando alertas y hasta administrando medidas preventivas, de tratamiento temporal, al usuario que presentase las anomalías.



Referentes Representativos de dispositivos inteligentes enfocados a medir variables que afectan a la salud.

Fuente: Elaboración propia.

Además, se escogió dos referentes que se implementan en situaciones de riesgo vital. Se tomaron dos ejemplos, uno de una actividad de riesgo laboral y otra recreacional. La primera por condiciones extremas a las que el trabajador esta expuesto en rescate (emisiones en el aire), y la segunda por condiciones de posible falta de destreza a la hora de someterse a un medio que requiere de una habilidad (en este caso, nadar), falta que sucede por falta de experiencia o influencia de un agente externo que perturba su habilidad en el agua.



Referentes diseñados para alertar de riesgos.

Fuente: Elaboración propia.

Ambos dispositivos se desarrollaron bajo la apuesta de ofrecer seguridad mediante la vigilancia tecnológica apoyada por la revolución de las redes móviles, y están ideadas para la detección de parámetros considerando siempre el respaldo de personal atingente a recibir esta información, la cual en ambos casos es difícil de percibir en el entorno físico en el que la afección a la salud pudiese ocurrir.

En adición, se consideraron estos extremos dada su facultad de descartar, mediante la fiel lectura de monitoreo programada, falsas alarmas. Un ejemplo de esto sería que el referente SEAL, el cual es un sistema de dispositivos que se encargan de monitorear el estado de niños en el agua y si están entrando en la condición de peligro de ahogo, que distingue si los niños están aguantando la respiración o, en efecto, ahogándose. Por último, ambos son servicios que son aplicables a otras áreas de uso, como SEAL le sirve también a niños con epilepsia y aquellos que están aprendiendo a nadar.

Ambos dispositivos se desarrollaron bajo la apuesta de ofrecer seguridad mediante la vigilancia tecnológica apoyada por la revolución de las redes móviles, y están ideadas para la detección de parámetros considerando siempre el respaldo de personal atingente a recibir esta información, la cual en ambos casos es difícil de percibir en el entorno físico en el que la afección a la salud pudiese ocurrir.

De referentes relacionados a objetos de contacto con cuerpo en movimiento, que se pueden relacionar mediante anclajes de adhesión, se rescatan los calces que puedan alcanzar los objetos con el cuerpo que permitan una portabilidad no disruptiva de las actividades por acoplarse asimilando la elasticidad de la piel, entendiéndola como un soporte blando de superficie irregular y que debe recibir cambios articuladamente mediante vacíos o zonas de poco movimiento de pliegues. Así, también, la cualidad de soportes que facilitan interactuar con la naturalidad del cuerpo, y a la vez integrar tecnologías sobre ellas, permite incorporarlas como indumentaria mucho más propia que las "holgadas", generando poca percepción de portarlas al ceñirse la forma a la superficie corporal.



Referentes de accesorios vestibles protectores de talón y de dedos.

Fuente: www.flickr.com.

Los dispositivos como elementos físicos pueden, según su tamaño, trabajar la información que capturan interna como externamente, redirigiendo los datos que capturan para que ésta se procese por separado y así se disminuya el tamaño necesario del dispositivo, ya que se fracciona la tecnología. Por tanto, los procesamientos de la información recolectada requieren de sistemas físicos de mayor tamaño, razón por la cual las tecnologías de objetos adosables suelen solucionar el análisis de datos de forma independiente y remota.

Es decir, los dispositivos que tienen a ser portables o hápticos cumplen con transmitir su información a un sistema centralizado para su procesamiento y posterior reenvío a un tercer punto, o de regreso al sistema portable original. Esto permite no solo que el aparato portátil pueda reducir su tamaño gracias a la externalización parcial de sus funciones, sino que también posibilita la recolección de una gran cantidad de información desde numerosos aparatos, lo que implica múltiples fuentes que toman datos y que pueden poseer alta movilidad.

2.1.2. Análisis usuario-cliente-mercado

Para resolver la problemática ligada a la incorporación del sensado en su dimensión de portabilidad, los distintos tipos de actividades y sus modos operatorios cobran relevancia. Se presenta la visita del caso de estudio y visita a la Faena Portuaria de Minera Escondida de BHP Billiton en el Norte de Chile, en la Región de Antofagasta.

La mayoría de las zonas de trabajo en los distintos ámbitos de procesamiento de metales, presentan riesgos relativos a la oxigenación.



Jornada registrada de la zona con mayores dificultades respiratorias: el galpón con polvo de cobre.

Fuente: Elaboración propia.

Fuente: Elaboración propia.

La visitas se desarrollaron primero en minera El teniente (Rancagua, Codelco) para efectos de investigación tecnológica, La esperanza (antofagasta, grupo ANSA), Minera Escondida (antofagasta, grupo VHP billiton) para efectos de levantamiento de campo con usuarios.

Se realiza visita en ultima parte de línea de producción que involucra el manejo de concentrado de cobre en la zona del puerto.



Análisis de actividades mineras en terreno

En la faena portuaria se visitaron numerosos puestos de trabajo y los gestos de manipulación y posturas de manos en las diversas actividades reúnen agarres de tipo fuerza, intermedios, y precisión, por lo que no se diseñó para un caso específico, sino para el peor caso.

Composición de fotografías de registro de agarres en actividades normales de jornada portuaria.

Fuente: Claudia Valdivia.



Análisis etnográfico

características clave

Extrovertido

Tecnología Buena mesa

Desafiante Padre Pareja
Deporte

metas



preocupaciones



intereses personales

intereses personales

vida familiar y social



Composición de boards a partir del perfil persona y la etnografía realizadas previamente.

Fuente: Claudia Valdivia, Adolfo Hidalgo y Natalia Muñoz.

2.2. Determinación del programa de diseño

2.2.1. Desde los Criterios estratégicos de Diseño a los Requerimientos

De un levantamiento de campo basado en entrevistas a los actores principales en salud ocupacional en minería mencionados con anterioridad, se desarrolla a partir de entrevistas y la visita una síntesis de requerimientos que definen el nivel de información a gestionar que facilitaría el control (frecuencia de transmisión y alertas, sistema de flujo de información y plataformas asociadas) y condicionantes del contexto para el diseño a realizar. Se recogen también datos del usuario mediante detección propia por etnografía, etnografía participativa y entrevistas, además de entrevistar al usuario intermedio (higienistas, aquellos que eventualmente administrarían el uso de múltiples dispositivos puestos en su equipo de trabajadores) y al cliente (gerentes de salud y seguridad ocupacional), el cual representa a la empresa. Estos completan las limitantes del mercado.

2.2.2. Identificación de las restricciones, definición de atributos y descripción de especificaciones técnicas

Las observaciones en terreno se clasificaron para dar cabida a condicionantes que de continuarse el proyecto se considerarían para una segunda fase de desarrollo, pero principalmente con el objetivo de priorizar de acuerdo a los usuarios y clientes cuales son las necesidades reales del dispositivo a desarrollar y cómo debiese configurarse para tener cabida en la zona laboral propuesta.

	Restricciones	Atributos	Obligatorio / Deseado
Uso	-Rapidez de colocación.	- Facilidad en la lectura de uso en forma de partes y piezas.	Obligatorio
Técnico-productivas	-Manipulación mínima del sistema eléctrico.	-No desarmable.	Deseado
	-Bajo costo a nivel de industrialización en su producción.	-Bajo costo y multiplicidad de variantes o mediano costo y variantes limitadas.	Deseado
Económico-normativas	-Disposición de volúmenes de venta por grupo, no unitario. -Cumplimiento con normativas de seguridad aplicables.	-Producibles por batches. -Certificable a nivel auditivo visual y material.	Deseado Obligatorio

Tabla de criterios según Bonssieppe completada con la información recopilada de fuentes.

Fuente: Elaboración propia.

Luego se atendieron los aspectos del cliente, mercado y usuario que en su generalidad determinan los aspectos generadores que configuran la propuesta, la que posteriormente es atendida según:

	Requerimientos Específicos	Atributos	Obligatorio / Deseado
Uso	-Inteligibilidad en agarre, colocación, posicionamiento y prendido.	-Cuerpo con elementos indicadores.	Obligatorio
		-Control de humedad.	Deseado
	-Transferencia térmica proveniente de la piel.	-Bordes de terminación roma.	Obligatorio
	-Contacto y roce entre el accesorio y los guantes.	-Capa superficial lavable.	Obligatorio
	-Limpieza de acumulación de material en suspensión.	-Densidad balanceada.	Deseado
	-Distribución de peso tendiente a la imperceptibilidad.		
Estético-Formales	-Distribución yuxtapuesta al dedo.	-Estructura adosable u acoplable.	Obligatorio
		-Apariencia segura y contemporánea.	Deseado
Ergonómicos	-(Biomecánico) Resistencia al apriete durante la flexión de los dedos (que el sistema de sensado no se fuerce al realizar un agarre de herramientas o maquinaria).	- Amortiguación del sistema.	Deseado
		- Variación de tamaño.	Deseado
	-(Antropométrico) Variabilidad presente de dimensiones.	-Avisos integrados de prendido, apagado, y alertas de peligro.	Deseado
	-(Cognitivo) Comunicación del estado de funcionamiento. *función indicativa de la forma.	-Indicador de posicionamiento, parte delantera o trasera.	Obligatorio
	-(Cognitivo) Orientación correcta de los sensores al colocar el accesorio. *función indicativa de la forma.		
Funcionales	-Transmisión y procesamiento de datos.	-Sistema de comunicaciones hacia una central de monitoreo, de conectividad para transmitir remotamente los datos, de memoria.	Deseado
	-Contención de un sistema eléctrico de sensado (atributo: envoltorio alojador, protector y distribuidor)	en red e interfaz para almacenar y procesar los datos.	
	-Mantención del sistema eléctrico en posición (conservar el dispositivo puesto dependería de la percepción de indiferencia hacia el accesorio; hipótesis: que se sienta pero no moleste permitiría su mantención).	-Superficie de contacto de estímulo "indiferente".	Deseado
Técnico-productivos	-Serialización de la producción del dispositivo.	-Tecnología avanzada de molde de polímeros.	Deseado

Tabla de criterios según Bonssiepe completada con la información recopilada de fuentes.

Fuente: Elaboración propia.

2.2.3. Estudio de las variables del problema

Se determinaron las dimensiones del problema de diseño mediante la observación directa e indirecta, cuyo desglose se realiza a partir del sistema de sensado a incorporar su relación al medio, tanto a nivel de interacción como a nivel función. Las variables y su jerarquía, de menor a mayor importancia, están asociadas a tres grupos, los cuales:

- A: indican la localización del sistema de alertas
- B: delimitan el posicionamiento ideal del sistema de sensado
- C: proponen su organización dimensional dentro de un perímetro

A-Sensado de oximetría: señales de avisos: estructura envolvente, guante y sistema sensorial del trabajador. De la estructura envolvente como soporte: distancia de sus caras en zonas de menor curvatura, ángulo de visión respecto del eje de posicionamiento con brazo en posición de flexión con contort, distancia de avisos luminosos respecto de la visión, magnitud de ruido, vibración y luminancia del espacio proximal, intensidad del color utilizable como recurso.

B-Sensado de oximetría: sistema de sensores: sensor emisor, piel del trabajador y sensor receptor. Del espacio entre sensores: distancia entre sus caras, ángulo de la cara respecto del eje de alineamiento, distancia de cada sensor respecto del eje de alineamiento. De la piel del trabajador: magnitud de oscuridad de la piel, grado de densidad de la piel, nivel de delgadez de la piel.

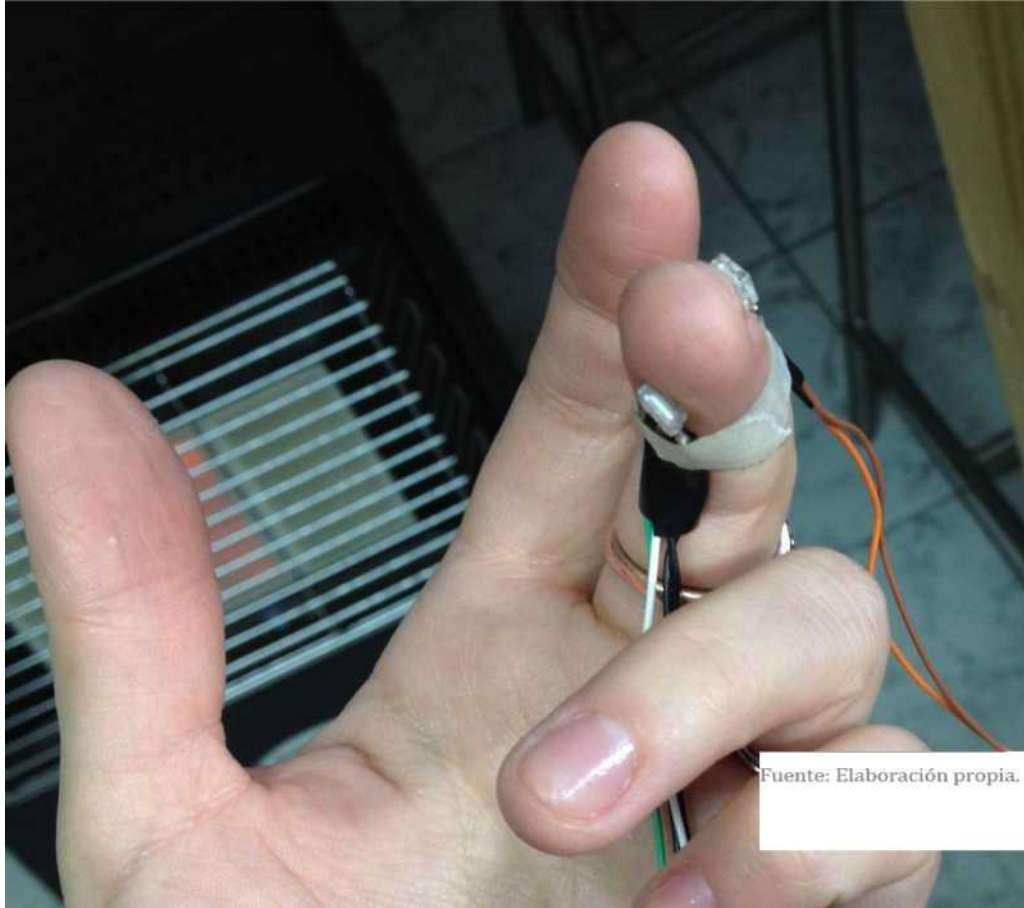
C-Sensado de oximetría: estructura envolvente: superficie del envolvente, el guante y el trabajador. Del trabajador como usuario: variaciones normales de las medidas antropométricas, tamaño de las partes de la mano y perímetro de las falanges de los dedos; dimensión en lo alto las falanges de los dedos, magnitud de elasticidad de la piel y variación volumétrica del perímetro por contracción muscular.

Las variables relativas al sistema de alertas y lenguaje visual asociado no se consideraron, dado que la jerarquía de permanencia en actividad y funcionamiento de sensado son variables más determinantes a la hora de resolver el problema de diseño, el cual trata la incorporación del medio a la actividad.

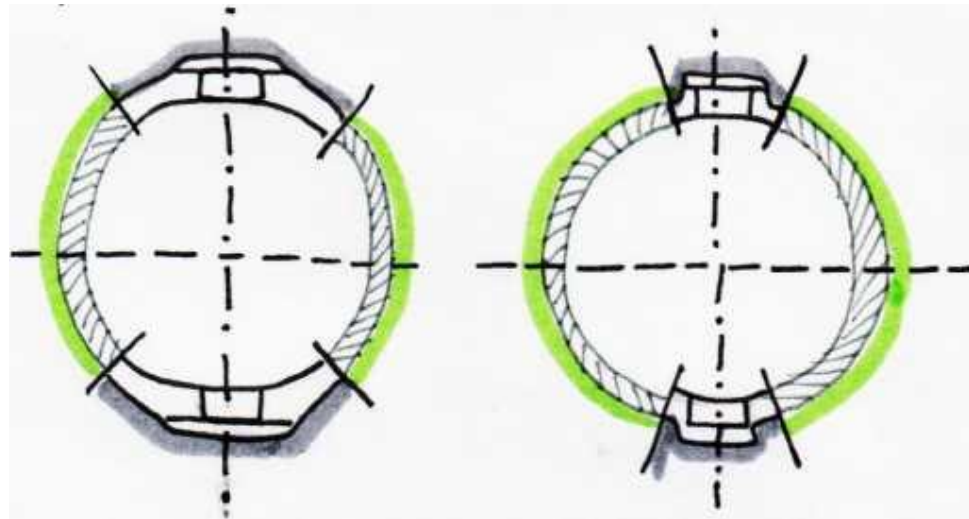


Procedimiento de exploración de reposicionamiento de sistema de oximetría.

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.



Resultados de reconocimiento de interdependencia entre componentes y posterior delimitación zonal.

Fuente: Matías Birkner.

Los componentes básicos de la tecnología de sensado se estudiaron desarmando y utilizando los equipos de saturometría en sus diversas presentaciones, y se identificó que:

- Los sensores deben estar en contacto con las caras opuestas del dedo.
- Los cables pueden ser reemplazados, y mientras se mantenga una protección de blindaje (protección contra otras ondas eléctricas) acorde a la zona de implementación futura del dispositivo, son susceptibles a la reducción de su formato en términos volumétricos, y por ende pueden ser extendidos para distribuirse con libertad en el medio a diseñar.



Maqueta de falange para reconocimiento del espacio superficial habilitado para el cable.

Fuente: Claudia Valdivia y Jazmín Peña.

2.2.4. Entendiendo a la mano como un soporte

Al estudiar las capacidades y restricciones de la tecnología, se continuo con la técnica de medición y su estudio, para seleccionar la ubicación de la zona a medir según mejor rango de lectura (funcionamiento) y menor presión por agarre.

La condición de sentir en la zona digital, parámetro preestablecido, se torna perjudicial en la medida en que la zona digital en actividades manuales requiere de sensibilidad y maniobrabilidad para ser realizada con normalidad. Esto lleva a la decisión de explorar las opciones de zona de lectura de saturación de oxígeno dentro de la misma mano permitió reevaluar la localización del sensado con miras a aumentar su cobertura de funcionamiento al alejar el dispositivo de las zonas de la mano donde se presiona más al asir objetos, pudiendo de este modo abarcar más tiempo de sensado dado que la presión que surge de agarres de fuerza dificulta la lectura.



1.- Testeo por efectividad de lectura

Procedimiento de exploración de reposicionamiento de sistema de oximetría.

Fuente: Elaboración propia.

2.- Testeo por presión de agarre

Se tipificaron todos los tipos de agarre que podría suceder en las actividades asociadas a la manipulación de palancas de maquinas, botones de accionamiento, manillas de puertas y compartimientos, mangos de herramientas e implementos de aseo, entre otros.



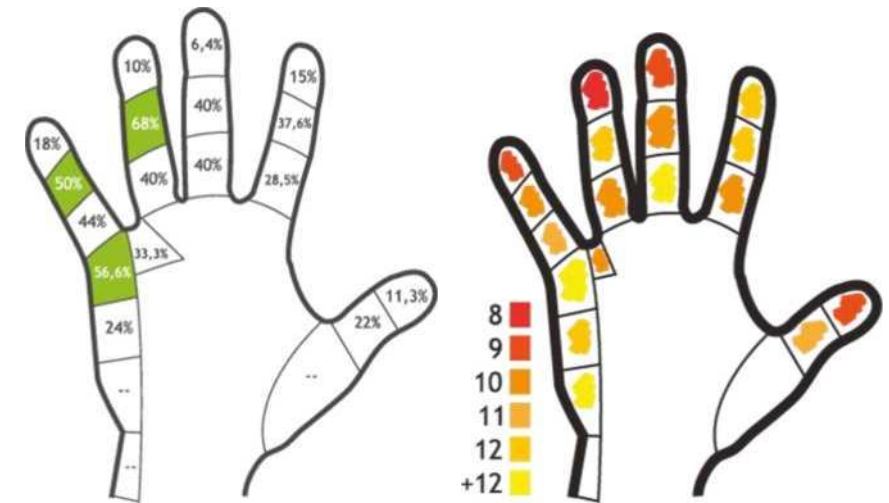
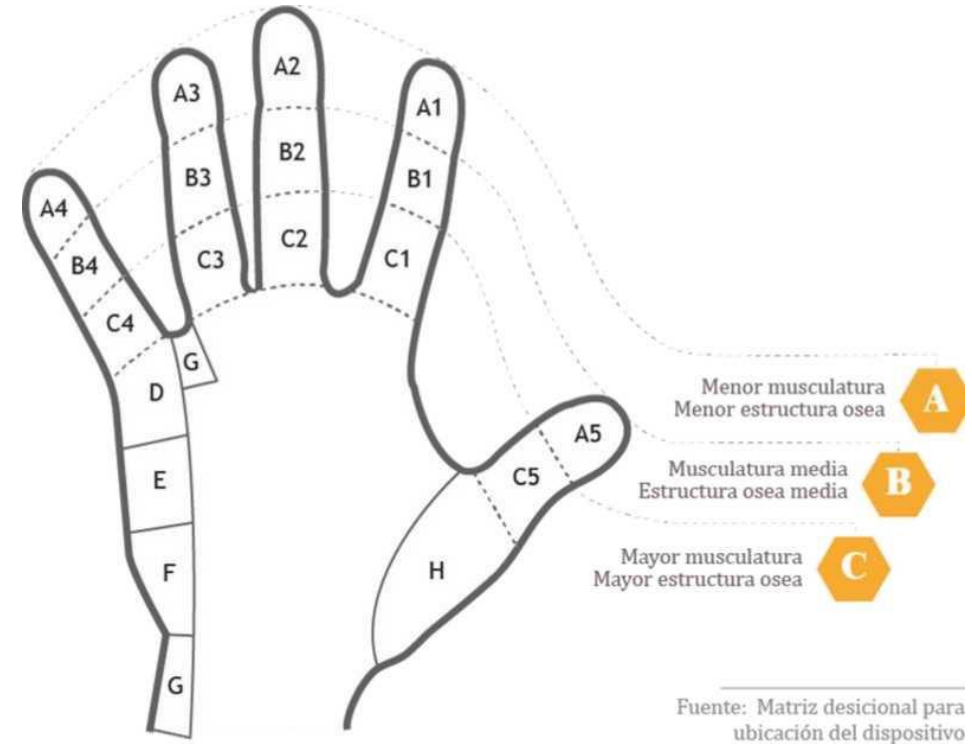
Fuente: Claudia Valdivia y Jazmín Peña.



Resultados de la experimentación

La falange medial del dedo anular obtuvo mejor promedio tanto de menor presión en actividad como de alto porcentaje de lectura continua.

Además, se hizo el alcance de proponer el uso del medio a desarrollar en la mano no dominante, ya que esta suele manipular menor cantidad de objetos y, a su vez, posee menor fuerza de prensión



Herramientas de levantamiento de datos para estudio de agarre

Fuente: Claudia Valdivia, Hugo Delanoé y Jazmín Peña.

Fuente: Claudia Valdivia, Matías Birkner y Jazmín Peña.

Límites originados por el dinamismo de los dedos

Posteriormente se estudio la geometría adecuada para ajustar la banda a la forma de la falange y determinar así la morfología que ha de tener esta banda. Para esto se realizaron pruebas con bandas de papel, por la capacidad de este material para generar curvas y quebrarse, además de arrugarse y romperse ante las deformaciones entre planos.

Este ejercicio registra aquellas zonas en que los papeles actúan como bandas y dónde en éstas interferiría el material por la flexión de los dedos. Luego se sustrajo material hasta llegar a una geometría que no interfiriera con la flexión producida entre las falanges.



Procedimiento de exploración de envoltorios para comprender los límites dimensionales entre partes del la mano.

Fuente: Elaboración propia.

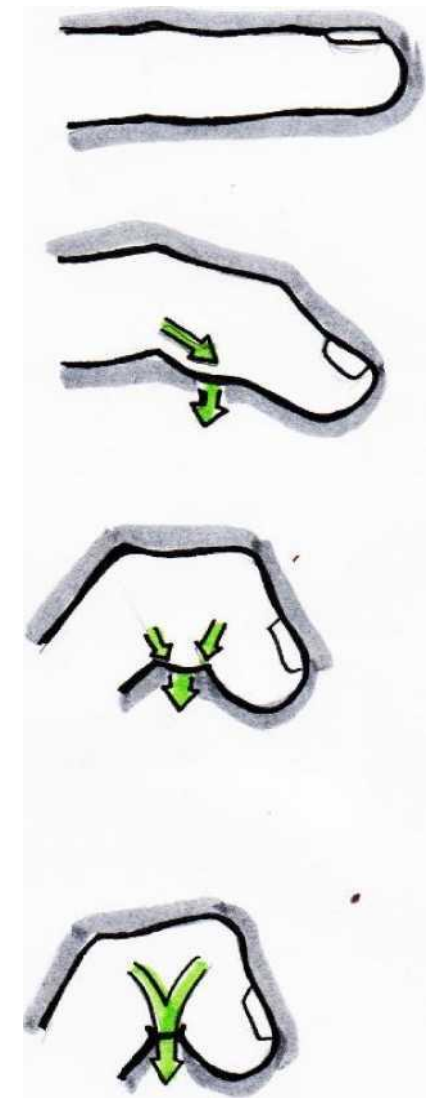
Límites de contacto entre falanges acorde a los arcos del movimiento de flexión

La observación de los movimientos de los dedos de las manos rescata la acción de flexión como parámetro crítico a considerar, dado que al empuñar la mano se da el mayor momento de contacto, generándose pliegues, topándose las caras de las falanges del mismo dedo. Este es donde al entrar en contacto se reduce la zona libre de la cara medial, delimitándose un área menor en la zona palmar.

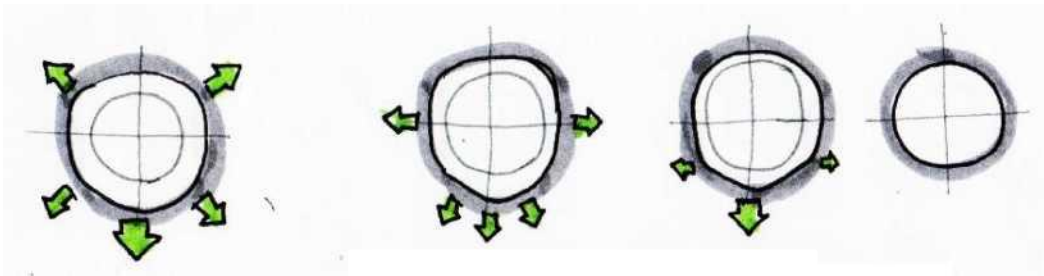
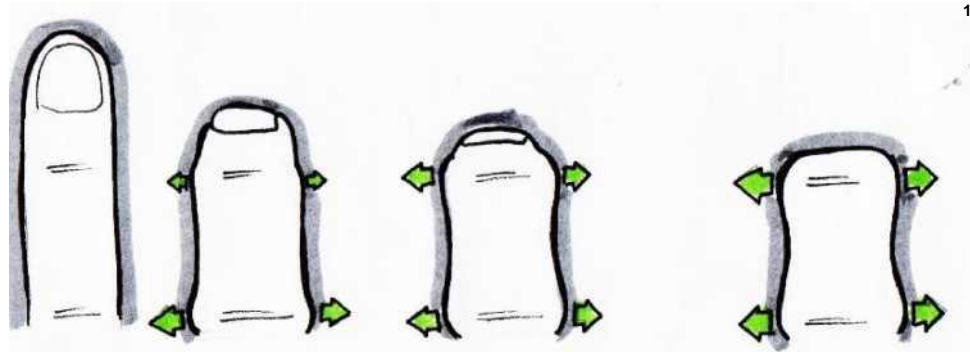
En adición a estas delimitaciones, la flexión como movimiento consiste en contracciones y distenciones a nivel muscular, las cuales se evidencian en cambios de alturas y ancho total. Estas alteraciones dimensionales de la superficie se traducen a una serie de transformaciones morfológicas. Estas serán contempladas como el espectro o rango base a cubrir. Esta deformación se caracteriza por presentar un mayor cambio volumétrico en la zona inferior (palmar) al intensificarse la flexión. A través de mock-ups y maquetas se logro apreciar los cambios de forma en la piel cuando se flexionan los dedos.

Los cambios volumétricos apreciables pueden ser de dos índoles: aumento de perímetro o la variación en regularidad de este. El aumento de volumen producido por el movimiento de flexión implica a su vez una variación en el perímetro total de la falange. Por tanto, la superficie estudiada presenta distintos tipos de variabilidad.

Por ultimo, la falange en flexión ejerce fuerza de presión, factor a considerar cuando esta entra en contacto en su cara interna. Esto implica un cambio respecto a su posición inicial.



Fuente: Matías Birkner.



Fuente: Matías Birkner.

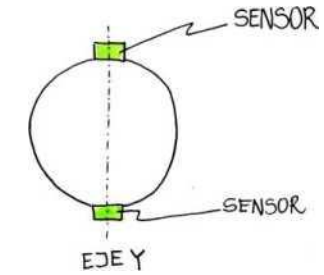
Resultados de la exploración

A partir del estudio de anatomía funcional, se establece que la delimitación espacial que no interfiere con los movimientos de manipulación comunes, permite considerar una zona perimetral continua alrededor de la falange, resumida como banda perimetral. La zona a intervenir se caracteriza, entonces, de medidas variables por su naturaleza biomecánica (de flexión y extensión muscular), que genera cambios dimensionales, limitando la altura de las caras interna y externa de manera distinta, y anchura del perímetro irregularmente. La superficie disponible, por tanto, es la unidad máxima de soporte para los componentes, y comprenderse formalmente como una banda cuyos elementos son el plano y el contorno.

A modo de resumen, ya podemos observar limitaciones espaciales para trabajar el espacio sobre el cual se diseñará, a saber:

Zona: Cual falange, de tarea de agarre tipo por efectividad de lectura del dispositivo (causado por apriete en uso de herramientas)
 Perímetro: Cuanto recorre del perímetro la falange, cm distribuir componentes según criterios de alineamiento (cuestionarse banda completa)

Área: Cuanto espacio en esta, se hizo estudio de falange en uso acorde a observaciones de anatomía funcional (causado por flexión)



Fuente: Matías Birkner.

La mano en condiciones de trabajo con protección

Dentro del contexto laboral, el usuario, y por ende la zona de sensado, debe atenerse al uso constante de EPPs (elementos de protección personal), accesorios que lleva en diversas partes del cuerpo. Es así como la mano debe ser considerada con un límite circundante, el cual delimita un espacio que rodea cada dedo, y es de carácter variable.



Fuente: Elaboración propia.



Estudio del espacio en términos de espesor, y el espacio intersticial trabajable dado por el uso de guante.

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera surge el intersticio en donde el medio a desarrollar debe situarse, enmarcado en los límites entre la superficie de falange y la sección del guante. Por tanto, el guante es un elemento presente en el transcurso del uso del medio a desarrollar. Como accesorio en contacto con la mano, el guante y el modo operatorio de su utilización deben ser considerados.

El guante, en su carácter de objeto que se porta, al igual que la ropa, se adscribe a una talla determinada, y la superficie interna de este se desliza y roza con los dedos, y por ende, con la superficie de la falange que acogerá al medio de monitoreo. El roce es un factor de fuerza a considerar como incidente en la zona donde se situara el medio a desarrollar. En el desarrollo del medio que se instalara en la superficie de la falange, se debe evitar interferencias entre el objeto a diseñar y el uso de guantes de protección, por lo que se estima trabajar con el mínimo de espesor perimetral, correspondientes a datos de medidas máximas de los componentes electrónicos (entre 2.5 y 3mm).

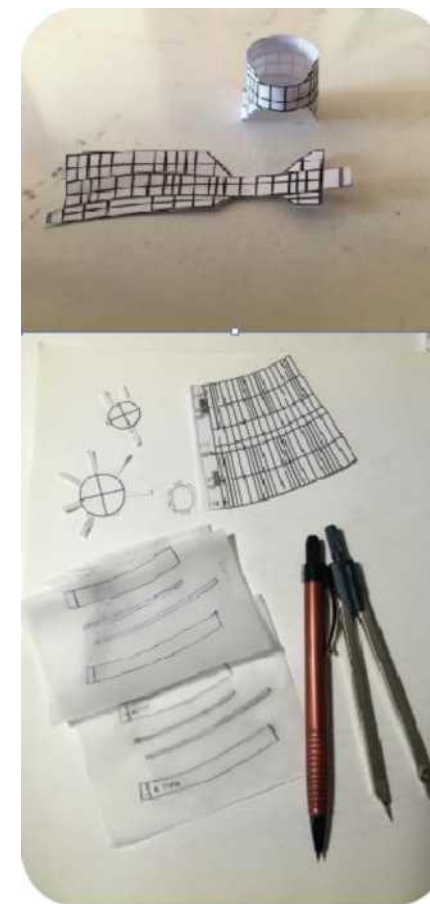


Fuente: Matías Birkner.

Ajuste de los tamaños a la anatomía

A partir de las observaciones de la mano y de su interacción con el guante, se obtienen factores relevantes a la interacción de fuerzas originadas por los movimientos asociados a la actividad de manipulación en general. No obstante, su especificidad y la incidencia a nivel morfológico requiere de una geometrización para poder trabajar con las proporciones apropiadas el desarrollo del diseño. Ante la carencia de documentación nacional en lo que respecta al levantamiento de medidas antropométricas a nivel de medidas entre dedos, se han considerado las medidas de coyunturas y largo de la segunda falange de los dedos meñique y medio, según la publicación en la revista internacional de ingeniería de Arunesh, Ch., Chandna, P. & Deswal (2011), y a través de estas se extrapolaron dichas medidas para la segunda falange del dedo anular, considerando una relación de escala encontrada entre estos tres dedos al estudiar una muestra de cinco personas. Dicha relación es la proporción de los tamaños entre estos tres dedos si se considera al dedo meñique como un actor 1 y al dedo medio como un factor 10; quedando el dedo anular como factor 9 proporcionalmente.

Considerando estas medidas para la falange anular, se han dibujado elipses correspondientes a las coyunturas y se ha considerado la distancia entre ellas para construir dos figuras conoidales, que se consideran representaciones del percentil 5 y 95 de la falange con la que se trabajara. Al comparar ambas figuras, el ángulo de la conicidad resultó ser similar, por lo que se montaron ambos conos en una sola figura, registro de estas medidas, según anexo adjunto. Una vez que se obtiene una morfología base acorde a mediciones reales, los alcances hechos hasta el momento se pueden traducir en una superficie explorable y representativa. La sección superficial de la falange ahora establece los límites dentro de los cuales se puede trabajar.



Fuente: Elaboración propia.

Determinación de la muestra

Extrapolación matemática de medidas de la mano de trabajadores industriales

Selección de antropometría utilizable para geometrizar la falange

Se realiza un levantamiento de información de la existencia de bases de datos a nivel mano-dedo, y ante la ausencia de mediciones antropométricas locales, se toman 2 artículos publicados, ambos realizados recientemente (datos del 2011).

1. Se identifica un estudio de medidas antropométricas enfocado al desarrollo de herramientas manuales a partir de mediciones a trabajadores cuya población de estudio comprenda un rango etéreo similar al propuesto en el proyecto. Se comprende que hay semejanza entre los perfiles ocupacionales del operario minero y el mantenedor de hospitales, y por tanto, en sus fisionomías. De este se rescatan las medidas de longitud de la mano.

2. Se selecciona un estudio similar de una muestra mayor, de nacionalidad India, donde se tienen las medidas de las falanges adyacentes a la del dedo anular. Se promedian para cada extremo, 5 y 95 percentil, los datos de 3 medidas.

3. Se aplican los datos a la fórmula de la elipse, geometría de mayor semejanza con el dedo humano. Se estudian los ángulos de la superficie de cono truncado que representa a la falange y se procede a trincar tridimensionalmente con ángulos de traslape 30 y 55 para restarle volumen en la cara palmar.

1 Correlación de dimensiones nivel mano Medida comparada: largo total - largo palma

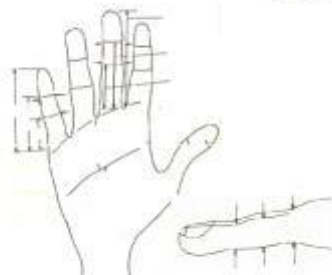


MEDIDAS REPRESENTATIVAS (cm):

	Longitud máxima de la mano		Longitud de la mano, o longitud palmar	
	MÍN	MAX	MÍN	MAX
CH	17,1	21,1	9,1	12,0
IN	17,0	20,2	9,4	11,8

Se corrobora que los datos de ambos estudios tienen alto grado de similitud, con una diferencia de 0,9cm en su medida más diferente, por lo que la muestra es homologable.

2 Correlación de dimensiones nivel dedo Medida comparada: largos anchos profundos de falanges dedos menique y medio

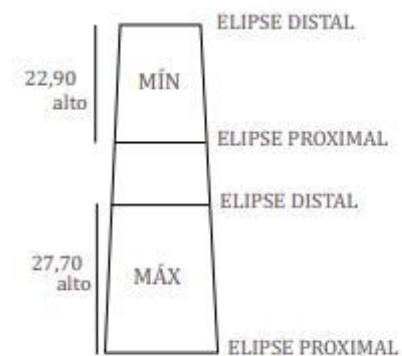


MEDIDAS REPRESENTATIVAS (mm):

5to Percentil	Longitud dedo total - Longitud falanges
95mo Percentil	Anchos y Profundidades

Se promedian proporcionalmente los valores luego de obtener la diferencia de longitudes, los anchos y profundos dados, en una razón de 8.

3 Obtención de dimensiones falange 95 y 5 percentil Medida desarrollada: trazado interfalángico elipsoidal



3

DESARROLLO DE LA PROPUESTA

3.1. Criterios de diseño y Conceptualización

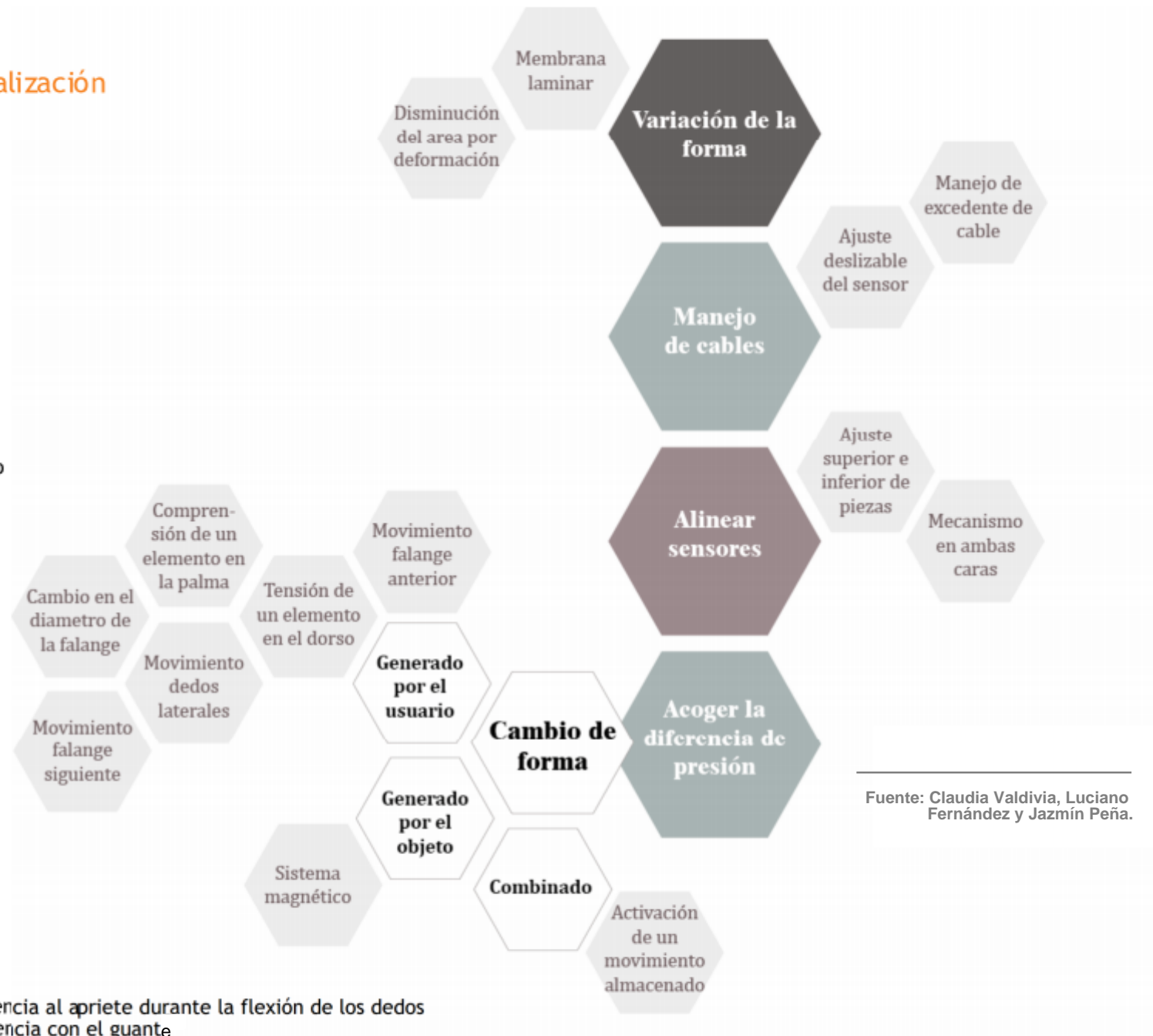
3.1.1. Requerimientos del diseño

Para abordar el diseño del medio de monitoreo a desarrollar, se deben tomar los requerimientos del levantamiento de información y de campo, y aquellos obtenidos del estudio de la tecnología y el soporte-cuerpo. A partir de esto, cobran relevancia lo siguiente:

- 1- Robustez ante factores del entorno ambiental. Este requerimiento se ha considerado obligatorio
- 2- Lectura de uso: La morfología del objeto debe indicar la forma de agarre y colocación del objeto, su correcto posicionamiento y si está o no prendido. Este requerimiento se ha considerado obligatorio
- 3- El calce no debe generar discomfort durante su uso. Este requerimiento se ha considerado obligatorio
- 4- Lavable: debido al contexto de uso es importante que la capa superficial, expuesta al polvo y al sudor, sea lavable. Este requerimiento se ha considerado obligatorio
- 5- Avisos integrados (encendido y alertas): El objeto debe comunicar que se encuentra funcionando y debe alertar al trabajador en caso de peligro. Este requerimiento se ha considerado obligatorio
- 6- No desarmable: El objeto final no debe poder ser desarmado, con tal de evitar la manipulación de los componentes eléctricos. Este es un requerimiento deseado
- 7- Compatibilidad con la ropa de trabajo. Este requerimiento se ha considerado obligatorio

Luego del estudio del problema, algunos requerimientos, planteados con anterioridad en la etapa del levantamiento de campo, ganan especificidad. A saber:

- 1- Robustez ante factores del entorno ambiental → Resistencia al apriete durante la flexión de los dedos
- 7- Compatibilidad con la ropa de trabajo → Evitar interferencia con el guante

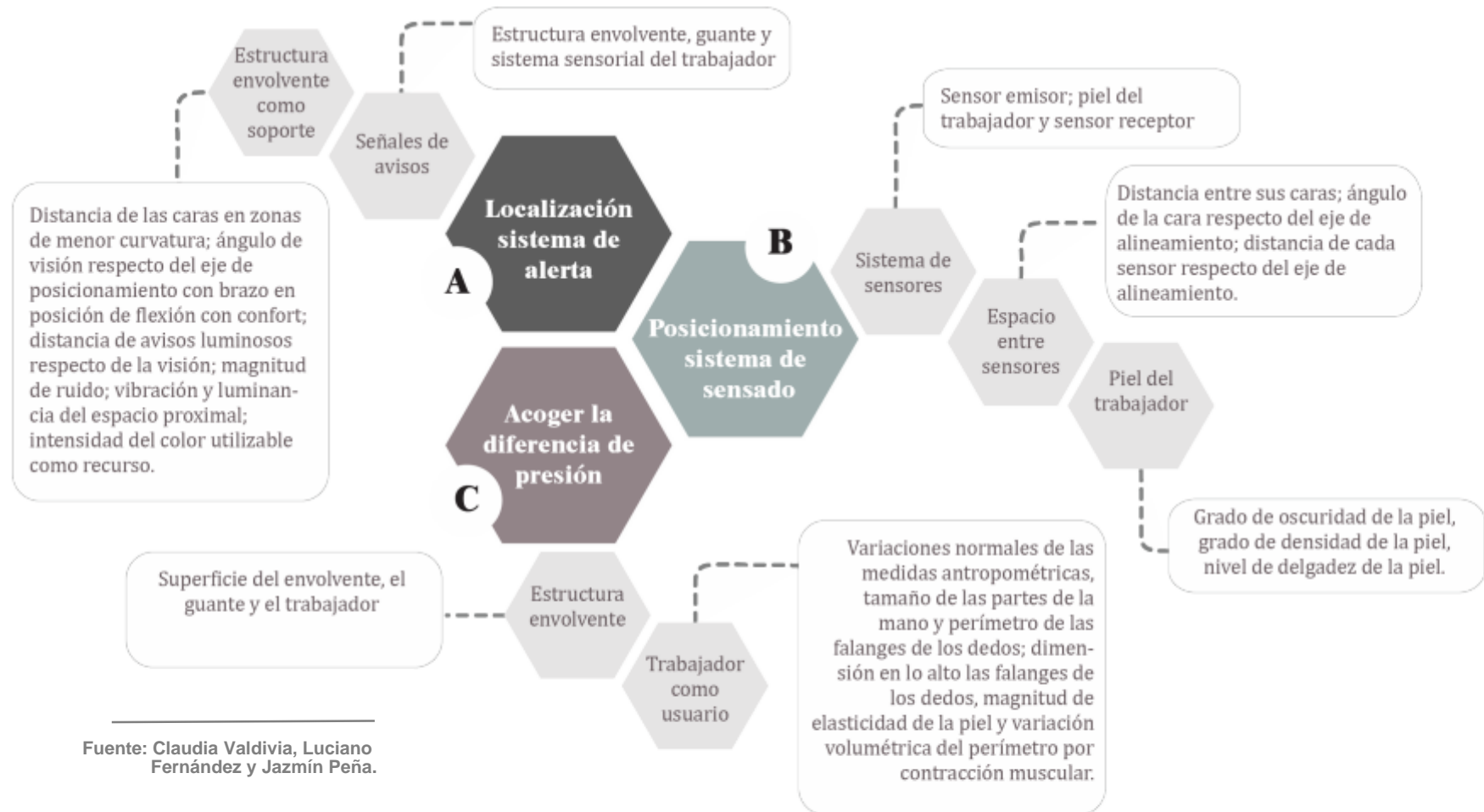


Fuente: Claudia Valdivia, Luciano Fernández y Jazmín Peña.

Por tanto, las siguientes consideraciones de diseño se recogen:

- Acoger la variación de la forma de la piel de la falange entre los distintos arcos de movimiento.
- Manejo de cables.
- Mantener alineamiento de los sensores.
- Acoger las diferencias de presión de la sección de la falange entre los distintos arcos de movimiento sin aumentar la presión del sensor sobre la piel.

Luego de un análisis teórico se ha determinado que para mantener el alineamiento de los sensores durante los cambios morfológicos de la banda perimetral (que siguen a los cambios en la falange) es necesario que estos cambios se produzcan a ambos lados del dedo, de forma simétrica al eje que conecta ambas partes del sensor, por lo que el mecanismo utilizado para acoger esta deformación debe también replicarse en ambos lados. Se observa que, para asegurar la correcta posición de los sensores, es también necesario que el cambio morfológico en un lado del dedo esté vinculado al otro lado de modo que trabajen al unísono. Además es necesario considerar un posible giro de la banda perimetral alrededor del dedo una vez puesta.



3.1.2. Planteamiento de alternativas de solución

Establecimiento del nivel de complejidad

Previo a la etapa propositiva, el nivel de complejidad de esta se ve restringido por la factibilidad tecnológica disponible en el plazo inmediato. Esto es, el alcance de la propuesta a nivel tecnológico considerando el factor de tiempo, sin encargarse del desarrollo del sistema de sensado en su dimensión electrónica. Dado que la escala de los componentes de procesamiento, los cuales se encargan de manejar la información recolectada por el sistema de sensado, determinan la envergadura de la proposición por requerir de diseño de microprocesadores y sistemas de transmisión de datos a distancia relativos a competencias de otros profesionales. Por tanto, se plantean las siguientes alternativas:

La alternativa de alta complejidad consiste en un servicio de vigilancia continua del estado de las distintas unidades de monitoreo, cercanía y análisis de resultados entre ellas. Además, sería capaz de, en cualquier momento, si se detectase una anomalía en una de las áreas bajo observación, de acuerdo al protocolo de aviso acordado con la institución que ha solicitado el servicio, activaría en forma inmediata una alerta, informando la ocurrencia del evento a la persona designada y a la monitoreada.

La alternativa de mediana complejidad es una serie de unidades de monitoreo remoto (dispositivos electrónicos capaces de adquirir mediciones de los estados de distintos procesos de sensado, para luego enviarlos al lugar donde se encuentre el usuario 'supervisor', y notificaría en caso de presentarse una serie de anomalías.

La forma de resolver el problema de gama baja consiste en una unidad de monitoreo que permita guardar un registro de las lecturas obtenidas y que identifique cambios en los signos que son esenciales para la detección de anomalías.

De estos, se selecciona la alternativa de baja complejidad, que cumple con desarrollar un producto que sea implementable dentro de un contexto de uso de difícil entrada, como es la minería. De esta manera, el proyecto a desarrollar se encarga de diseñar solo el medio de monitoreo, sin incluir el sistema electrónico de procesamiento en el.

La permanencia mediante la envoltura

La alternativa de solución seleccionada permite enfocarse en la banda ubicada en la falange como punto de partida. Una vez establecido esto, el abordaje del problema parte con asumir el contacto en su carácter físico (en una superficie de variabilidad morfológica) y como evento que se requiere a través del tiempo (funcionando

constantemente). Esto es, permanencia del sensado en el usuario (portabilidad), y ser adaptable para asegurar su permanencia. La adaptabilidad del medio a desarrollar se comprende como la capacidad de cambio, que permite adecuarse al cuerpo sin restringirlo. Esto porque las condiciones de sensado requieren de no obstruir el flujo sanguíneo para no impedir la lectura, y porque el carácter de uso continuo lo determina finalmente el usuario tomando una decisión de si mantenerlo puesto o no según un juicio de comodidad asociado al calce. La envoltura aparece entonces como la manera de adosarse a la falange, y calzando de manera segura sin condicionar su dinamismo.

Determinación de la banda como anillo

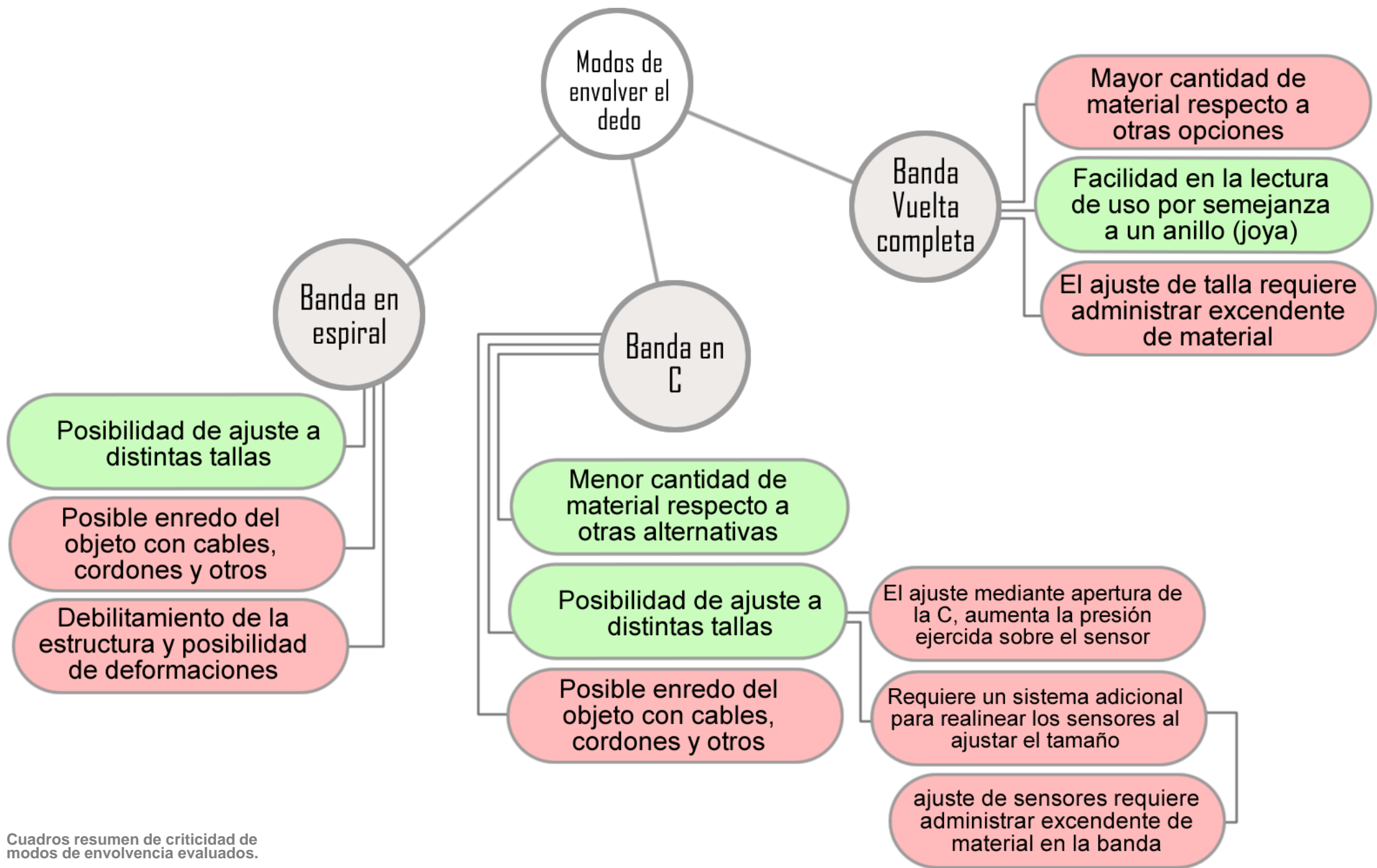
La envoltura se posibilita en torno a la superficie disponible de diferentes modos:

- Modo de recorrer en torno al eje: se sugieren caminos irregulares de cubrir el cono que determinarían si la banda se condiciona por un sistema de agarre particular.
- Parcialidad del recorrido: se sugieren tramos que comprobarían si la banda requeriría o no de encargarse de un sistema de sujeción adicional.
- Banda Completa facilita el uso del objeto ocupando una pequeña cantidad de material adicional, no corre riesgo de engancharse ni desprenderse como las parciales de menor grado de apertura.



Modos de tipificar las aproximaciones de resolver la envoltura.

Fuente: Luciano Fernández y Matías Birkner.



Cuadros resumen de criticidad de modos de envolver evaluados.

Fuente: Luciano Fernández.

Prototipo Físico Enfocado

Grado de apertura del envolvente



Criterios de evaluación

Grado a acoplamiento a la falange del dedo

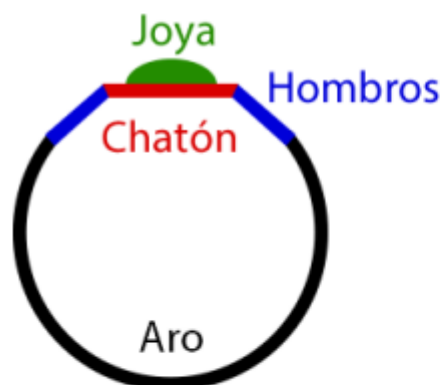
Anotaciones de la prueba

Los grados fluctuantes entre 20 a 180° no presentan posibilidades de sujeción al dedo, viéndose enfrentados a las tareas propios de los operarios, pues los movimiento provocan su desprendimiento

Fuente: Claudia Valdivia y Jazmín Peña.

Luego de estudiar las formas de envolver el dedo, se ha decidió continuar trabajando en base a una banda completa, pues se considera que los beneficios de las otras alternativas no compensan sus aspectos negativos. La banda completa se convierte en un anillo.

Ya establecido el uso a modo de anillo, es necesario hablar brevemente de ellos con tal de establecer una nomenclatura que facilite el desarrollo. Muchos anillos se caracterizan por tener una parte dorsal notablemente mayor a la parte palmar por motivos que varían según el tipo de anillo. Las partes principales de este tipo de anillos, cuya nomenclatura es útil para este proyecto son aro, hombros, chatón y joya. Es importante señalar que esta nomenclatura no incluye detalles particulares y que otros tipos de anillo pueden carecer de estas partes o tener partes diferentes.



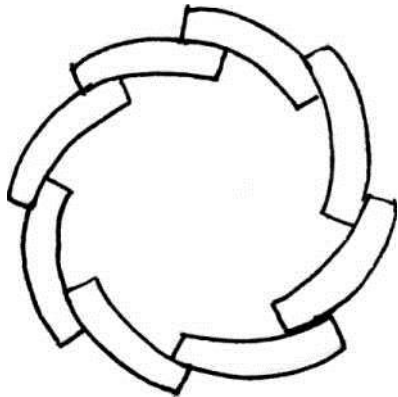
Fuente: Luciano Fernández.

La adosabilidad en un medio dinámico

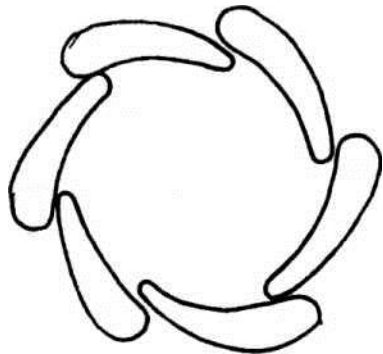
La adaptación a los cambios morfológicos requiere de solucionar el problema dotándole la capacidad de cambio formal a la propuesta. Este cambio se refiere a una condición de variabilidad que se traduce en un aumento en longitud (delta).

Este delta condiciona al diseño a adaptarse a esta extensión, pudiéndose realizar tanto a través del material como a través de la configuración estructural. Evaluando estas últimas, se infiere la necesidad de superficies desarrolladas en base a piezas rígidas enlazadas a través de una estructura extensible, o mecanismos de despliegue. Seguir los cambios morfológicos del dedo permitiendo a su vez adaptar el tallaje del anillo a distintos tamaños presenta, por tanto, mayores impedimentos.

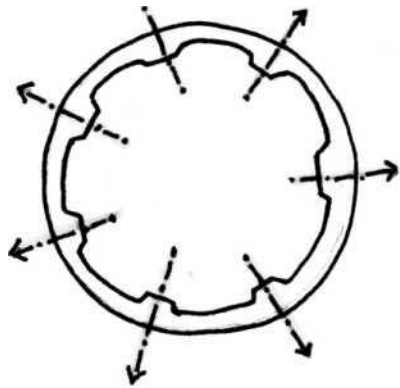
Primeramente, se detectan dificultades asociadas a la escala, debido al tamaño del objeto que se esté diseñando, como por ejemplo, el que cualquier pieza que conforme un mecanismo rígido se vuelve demasiado pequeña como para lograr una buena resistencia mecánica que impida que se quiebre. Además, otro inconveniente de utilizar una superficie compuesta de mecanismos rígidos implicaría la existencia de



espacios entre piezas, delimitado entre, y por, los mecanismos de desdoblamiento. Estos espacios permitirían que los bordes delimitantes entre ellas posibiliten aprietes o atascamientos de cables, componentes o incluso la piel del usuario. Por último, una superficie compuesta total o parcialmente de mecanismos rígidos finos acumularía grasa y polvo entre sus piezas, que a esta escala será difícil de limpiar, por lo que una solución de menos piezas o tendiente a una forma regular o simple sería más fácil de mantener.



Esta línea de desarrollo se descarta dados los inconvenientes que presentan, a diferencia de abarcar materialmente la extensión, que involucra la utilización de las propiedades mecánicas de un material para extenderse mediante su propio estiramiento, ya sea completo o controlado zonalmente. Esta ventaja comparativa se puede apreciar con determinados materiales, como aquellos que presentan elasticidad y memoria.



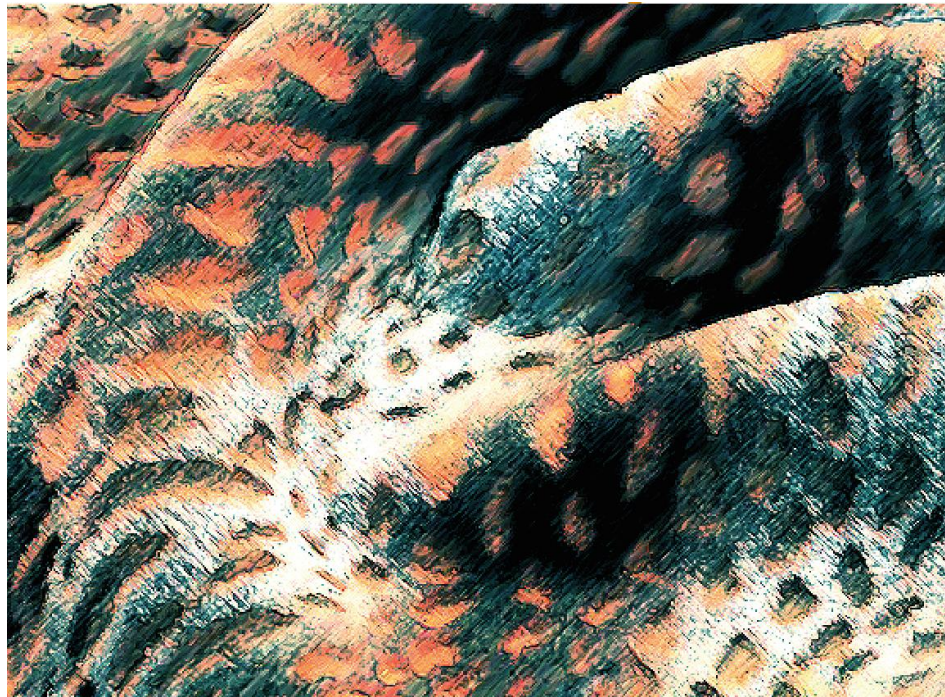
Se decide tomar esta última línea de exploración porque abarcar la variabilidad desde la elasticidad material permite atender a la deformación de la piel mediante su grado de flexibilidad. A su vez, también permite abarcar el aumento perimetral a través del atributo expansible, ya que un material puede ser solo flexible, pero un material estirable es uno que puede ser tanto flexible como lo que se entiende comúnmente como elástico. Como el simple estiramiento del material implica más presión sobre el dedo, se investigó respecto a elementos capaces de recibir presión hasta alcanzar un umbral que los hace cambiar de forma (disminuyendo mayor parte de la presión) y que sean capaces de recuperar su forma original una vez esta presión desaparece. De esta forma el objeto acompañará los cambios morfológicos de la falange. Se analizaron las distintas pruebas considerando la resistencia

ofrecida y la percepción de presión necesaria para alcanzar el umbral de deformación en comparación con la necesaria para mantener esta deformación; entendiéndose que a mayor diferencia entre ambas presiones percibidas mayor energía es capaz de almacenar la deformación.

De esto se rescata entonces la extensión material como manera de mantener los componentes del sensado adosados a la piel, relacionándose con la falange como envolvente que actúa como elemento conjuntivo, zonificando los componentes del sistema y adaptándose al contorno variable del dedo. Esta relación denota la función del medio a desarrollar, que es mantener el contacto y alineamiento del sistema de sensado, y a su vez se acopla y asimila las variaciones morfológicas de la falange, actuando a modo de membrana.

3.1.3. Formulación de propuesta de solución a nivel conceptual

La membrana permite determinar una configuración delimitada del total de componentes así como un parámetro de unificación sectorizado. La propuesta funciona en este espacio laminar envolviendo sutilmente a la falange y casando la funcionalidad del sistema anillo-dedo. La unificación es referida como un parámetro de conjunción.



Fuente: Elaboración propia.

3.2. Desarrollo de la solución

3.2.1. Estudio de problemas a resolver

Los problemas asociados al desarrollo de la propuesta son:

Delimitación en su configuración formal, designando espacios fijos para aquellos componentes restrictivos (sensores), habilitando espacios recorribles para aquellos de libre extensión (cables), y permitiendo una transición entre estos.

El espacio laminar de altura restringida, dando cabida a diferencias de planos, otorgando espacios de contacto y descanso de este, generando cambios dimensionales de grosor, y permitiendo zonas libres de asignación funcional.

Esto se traduce en que la membrana se acomoda, siendo capaz de asimilar y conllevar los movimientos de la falange en actividad y situar los componentes de sensado en esta. Un punto importante a recordar es el alineamiento de la sonda oximétrica, pues el sensor emisor debe ubicarse en la parte dorsal de la falange, mientras que el fotorreceptor debe ubicarse en la parte palmar, y sus caras deben estar enfrentadas. A su vez que estos componentes son ubicados, el albergarlos permitiría su colocación al mismo tiempo que su protección.

Recordando que el la membrana permite integrarse a las actividades del usuario, y para esto es necesario que el adosamiento al dedo ocurra de forma segura y sin interferir con el desempeño de la mano, el carácter de medio que intrínsecamente define a una membrana determina la permeabilidad de la superficie que genera el contacto.

La administración de una superficie variable entrega responsividad ante los cambios perimetrales emergentes.

3.2.2. Desarrollo de soluciones parciales

El ajuste al cambio de la forma de la piel en las distintas posturas implica solucionar la variabilidad de manera independiente y enfocada a cada problema. Esto se realiza mediante la generación de prototipos físicos y analíticos, presentados a continuación.

- Como acoger la variabilidad en términos de irregularidad superficial:

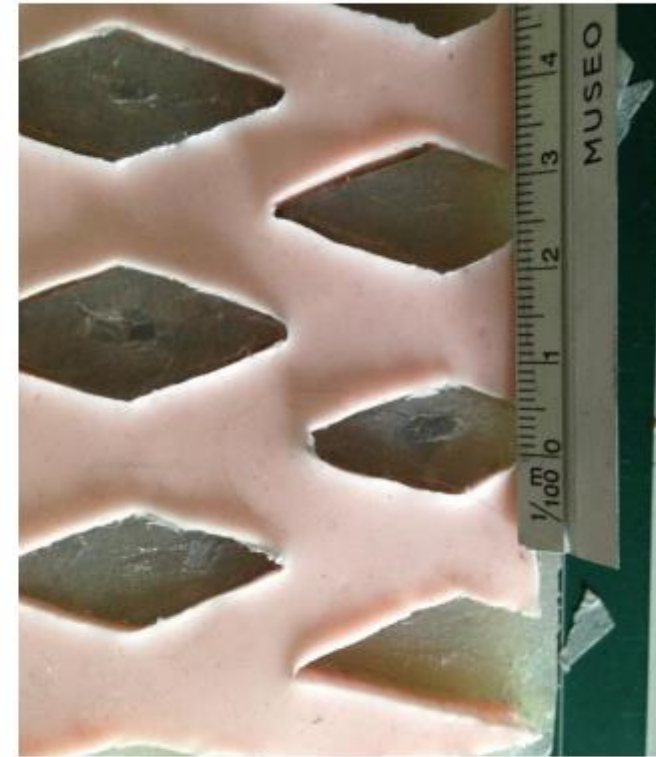
Tratar la superficie de contacto con la piel (interna) con diferencias de altura mediante la fragmentación en zonas transversales y longitudinales, recogiendo a través de franjas de contacto la aparición de distintos puntos de contacto.

- Como acoger la variabilidad en tanto que delta perimetral:

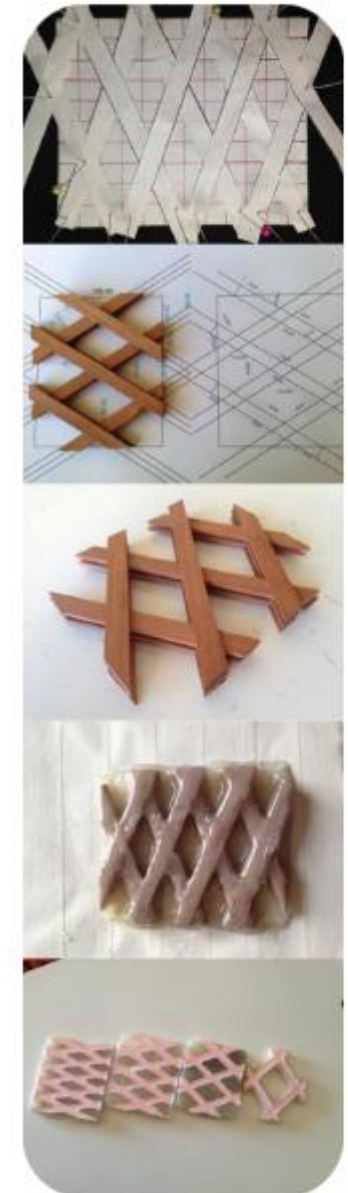
Intervenir sustratos elástico-flexibles con sustracciones de formas geométricas para fomentar el aumento de estiramiento mediante el predominio de la componente diagonal. Esto permite un segundo desarrollo de la unidad rombo como propiciadora del estiramiento expansivo dentro de un entramado, cuya composición geométrica se apoya de una retícula de componentes no ortogonales que se asemeja a un zig-zag.

A partir del resultado primero, que arroja la distinción de zonas de contacto y zonas vacías, se identifica que por la parte dorsal no se requiere de niveles superficiales, a diferencia de las zonas con deformación progresiva notoria como la parte palmar, que requiere de más variación de niveles, tendientes a mayor frecuencia de niveles altos.

A partir del resultado segundo, se desprende una configuración de entramado simple a partir de sustracciones cuyo menor espaciado perjudica estética y estructuralmente las piezas pero si se aumenta el ancho de los volúmenes sustraídos se aumenta el estiramiento, llegando hasta un 30% más que el estiramiento original sin causar deformaciones no deseadas.



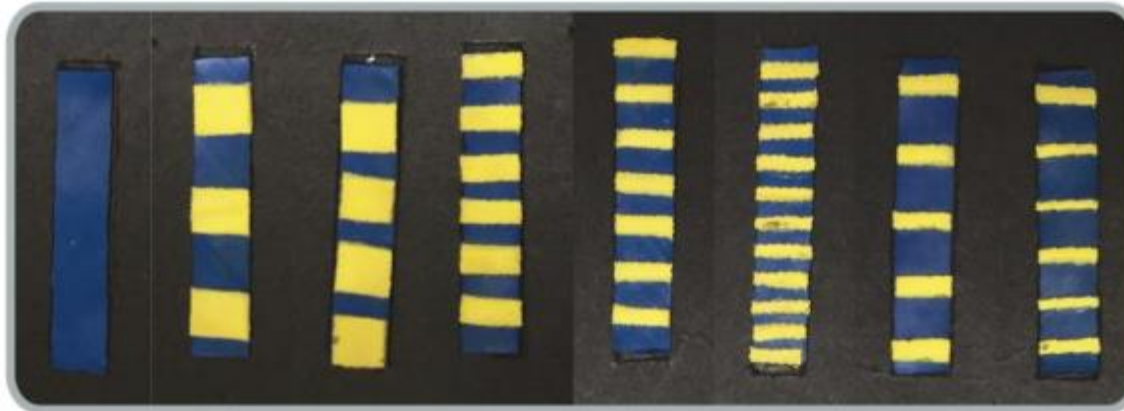
Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia. Prototipado de retícula de silicona para pruebas de deformación en función de estructura.

Prototipo Físico Enfocado

Variación en frecuencia y dimensiones de geometría (Valle-Montaña)



Criterios de evaluación

Grado de percepción de presencia.

Logro de acoplamiento en falange (Dar cabida a la deformación)

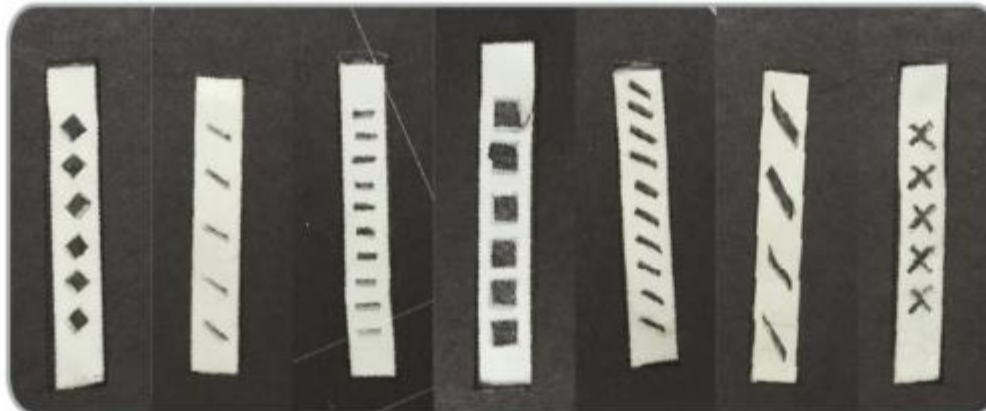
Anotaciones de la prueba

(-) valle (-) montaña:
Acoge la deformación pero puntualiza la presión en los dedos.

(+) valle (+) montaña:
Bajo acoplamiento en zonas más curvas. Baja percepción en partes de menos curvatura del dedo

Prototipo Físico Enfocado

Variación en orientación y frecuencia de geometría



Criterios de evaluación

Grado de deformación en longitud

Presencia de deformaciones no deseadas

Anotaciones de la prueba

Calados lineales:
(+) frecuencia (+) elongación y deformación.
angulación indiferentes

Rombo: Deformación y estiramiento controlado

Cuadrado: Debilitamiento de esquinas a 90°

Prototipo Físico Enfocado

Variación en dimensiones, frecuencia y alternancia de geometría.



Criterios de evaluación

Distribución de la deformación en eje.

Anotaciones de la prueba

A mayor espacio entre rombos mayor deformación no deseada y mayor delta longitud.

A mayor ancho, mayor deformación no deseada y menor delta longitud.

Prototipo Físico Enfocado

Variación en progresión de tamaños de la geometría



Criterios de evaluación

Presencia de deformaciones no deseadas.

Anotaciones de la prueba

Rombos de mayor tamaño tienden a generar deformaciones no deseadas. El estiramiento en cada sección es diferente y proporcional a la cantidad de material extraído.



Fuente: Elaboración propia.
PDistribuciones iniciales de superficie doble altura.

La irregularidad superficial del dedo que se contrastaba con una constituida de dos planos en la prueba 1, proponía niveles de altura planos, que se convierten en una prueba 1.2 de alturas comprimibles, a modo de esponja. Esto agrega una amortiguación al momento de entrar en contacto, pero no elimina la presión que se origina por el contacto entre ambas superficies.

El contener los niveles al amortiguar permite rescatar el elemento del aire en la composición de la esponja, y enteder estos planos de mayor nivel una estructura capaz de ser comprimida, y que de ser vaciada por su cara interna, ofrece una burbuja o ampolla. Ésta agrega blandura a la amortiguación, a diferencia de la dureza que entregaría el no encargarse del contraste de presiones, como en el caso de utilizar componentes rigidizantes, como la aplicación de un resorte para responder a la compresión o rebote.

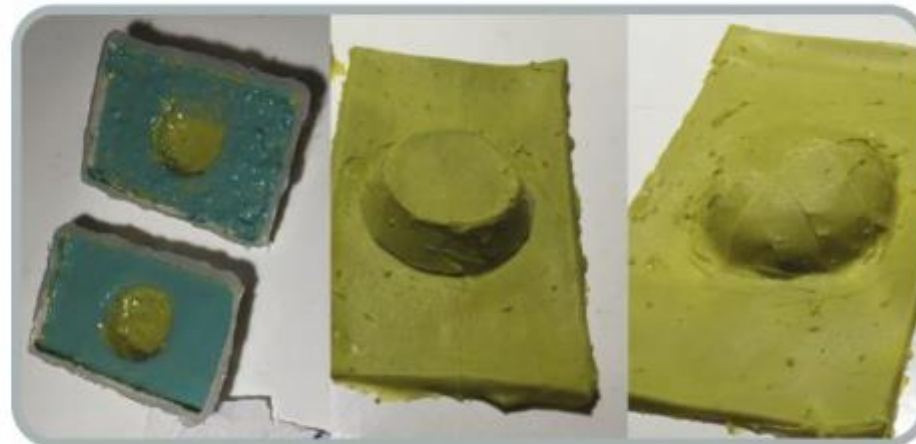
Como síntesis de lo anterior, el control de la compresión deseada para conformar esta superficie de altura en contacto se resuelve al desarrollar una forma con dos niveles en sí misma, a modo de botón, cuerpo que propone un sistema con umbral de liberación al momento de recibir determinada presión al contacto. Este botón funciona gracias a su materialidad y a su morfología. Todos los botones que funcionan de esta forma están hechos de un material elástico y flexible, lo cual les permite cambiar de forma y almacenar una pequeña cantidad de energía al hacerlo.

Prototipo Físico Enfocado

Tipo de estructuras para boton de dispersión de presión



Fuente: Elaboración propia.



Criterios de evaluación

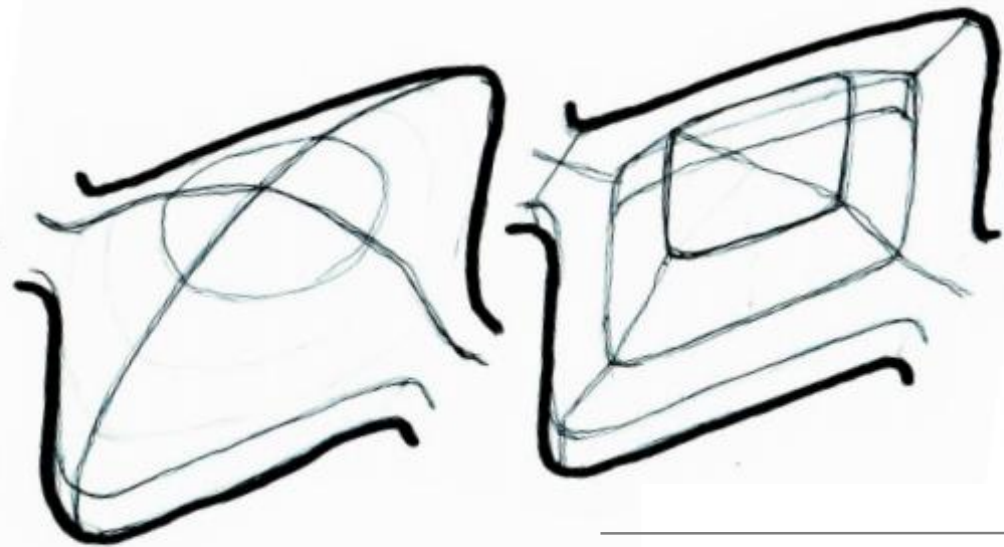
Control de la deformación
Memoria de la geometrías

Anotaciones de la prueba

Geometría cónica posee mayor memoria de la forma, que la geometría cúpula debido a estructura.

Además su morfología comprende una superficie plana (perpendicular al eje de la presión ejercida) y paredes inclinadas que les dan un aspecto similar a un cono. Esta forma hace que las paredes se pandeen una vez el botón recibe cierta cantidad de presión. El cambio formal hace que dejen de trabajar a presión y continúen trabajando a flexión, oponiendo menor resistencia. Cuando la presión ejercida desaparece, el botón vuelve a su forma original.

Se analizaron las distintas pruebas considerando la resistencia ofrecida y la percepción de presión necesaria para alcanzar el umbral de deformación en comparación con la necesaria para mantener esta deformación; entendiéndose que a mayor diferencia entre ambas presiones percibidas mayor energía es capaz de almacenar la deformación.

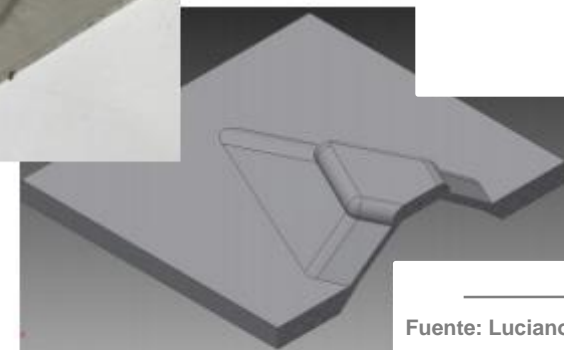
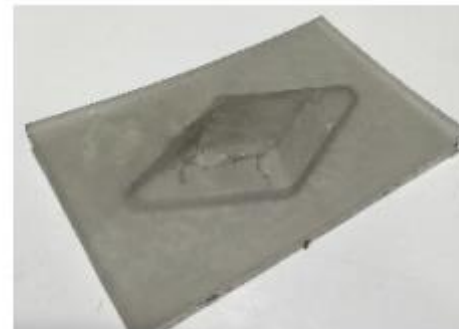


Fuente: Jazmín Peña.

Ambos el botón y la retícula romboïdal son soluciones parciales en tanto que no solucionan la interacción con los demás elementos. Así, se le asigna al botón la forma del rombo, zona que anteriormente era el espacio libre de la retícula, decantando finalmente en una base rombo-reticulado para asentar la propuesta.

Se propusieron para una misma altura, cuatro versiones del botón romboïdal, cuya variable se descomponía en curvatura de los planos que conforman las caras y redondeo de las aristas. Comprendiendo que el fenómeno físico de presionar no se comporta de manera escalar, pero si es evidenciable la incidencia de su geometrización volumétrica, se elaboraron morfologías intermedias para observar a nivel comparativo su capacidad como amortiguante. Las validaciones funcionales se realizaron con ensayos 2:1 y en la instancia posterior en escala 6:1.

Se rescataron dos aproximaciones representativas para la realización de CAD/CAM: una tendiente a las aristas, y otra hacia el volumen más redondeado. La primera entregaba el efecto de retorno o devolución, pero al ser prototipada en un material de menor dureza demostró su alta dependencia en la elasticidad de zonas críticas de compresión-tensión. La última resultó ser excesivamente resistente ante la presión. Estas reformulaciones mediante pruebas a escala definen el módulo rombo-reticular como base para el sistema de control de presión abstraído de las observaciones del botón-burbuja.



Fuente: SoluNova y Jazmín Peña.

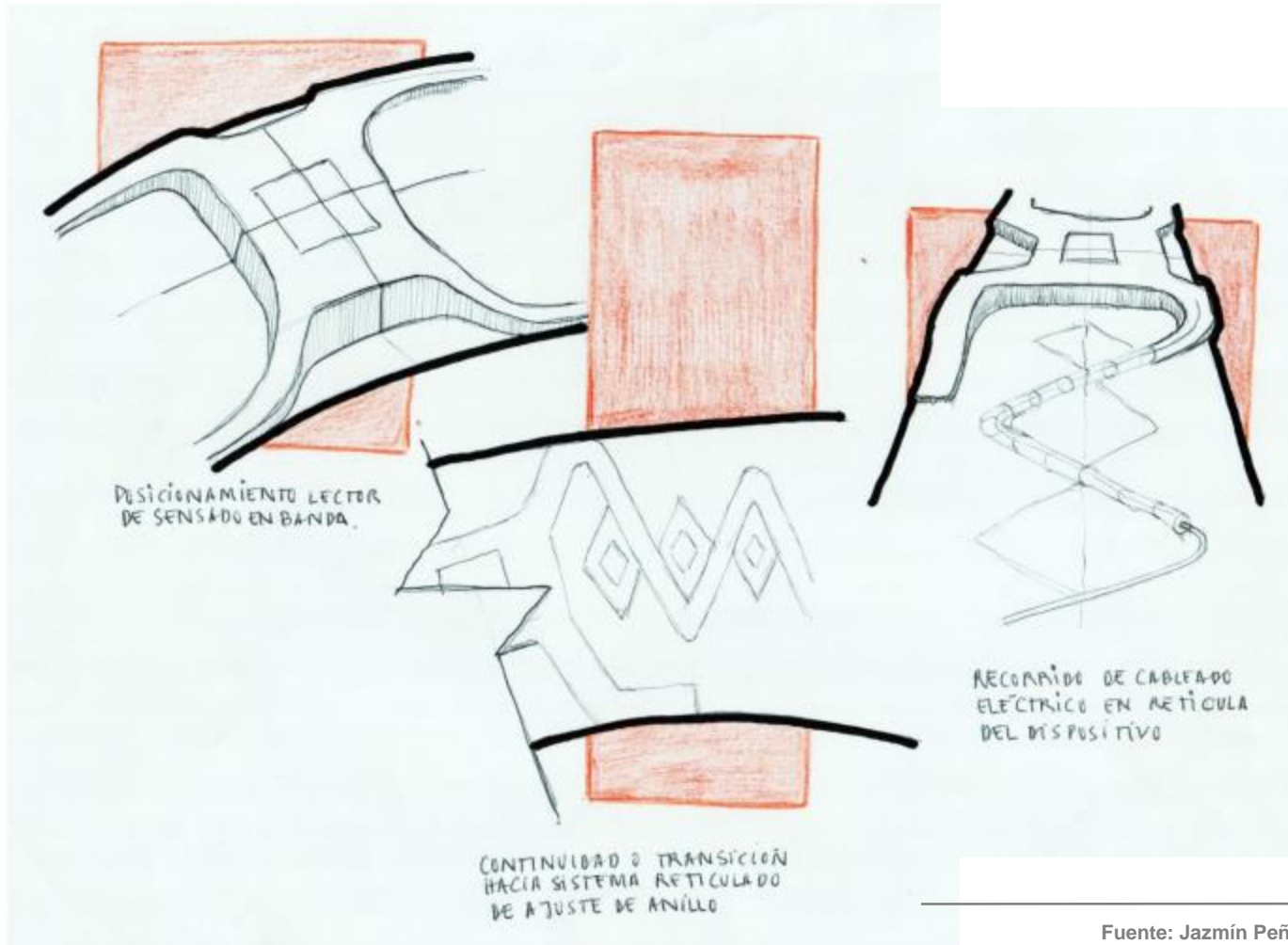
Prototipado digital mecanismo romboïdal para la dispersión de la presión del anillo

Fuente: Luciano Fernández.

3.2.3. Evaluación específica

Un componente electrónico al que no se ha atendido hasta el momento, por su carencia de elasticidad pero posibilidad flexible, es el cable. Este permite en la conformación actual ser localizado en una extensión de recorrido mayor a la utilizable para poder evitar ser tensionado al momento de provocarse el estiramiento. Se estudiaron distintas maneras de utilizar el recorrido posibilitado en la trama de la retícula propuesta, donde el cable recorría desde una vez su tamaño original hasta 3 veces la distancia en la que se haya contenido.

Esto se realiza teniendo presente la importancia de cuidar que los cables que conectan ambas partes del sensor entre si y al resto del sistema permanezcan ocultos con tal de protegerlos y evitar enganches con el resto de la indumentaria del usuario. Esta condición debe congeniar con el manejo del cable durante los movimientos de la falange, moviéndose así junto con la deformación en la superficie de la piel sin generar tensiones o excedentes de cable. Para lograr esta condición se hizo un estudio de distintos recorridos de cable a lo largo de materiales flexibles y el modo en que respondían ante el cambio de forma.



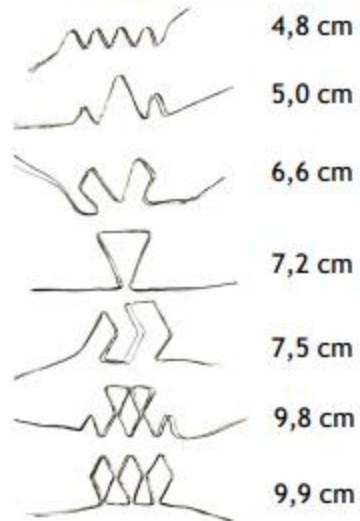
Fuente: Jazmín Peña.



Fuente: Elaboración propia.
Variaciones de recorrido de cableado interno del dispositivo de sensado

Finalmente se decidió utilizar un recorrido en zigzag, pues responde de mejor forma al estiramiento del material en el que se aplica, sin generar excedentes de cable que puedan interferir con el uso del objeto a diseñar. En escala 2:1 se prototipa el recorrido en un tramo de 2cm, se llega a un estiramiento de 2 veces la longitud inicial, declarando que otros recorridos a través de la retícula regularizada permitirían hasta 4 veces.

Recorrido alcanzable:



El proceso de integración del diseño completo consistió en:

- El entramado sólido se reduce en espesor
- Se generan retículas en la medida en que aparece el botón romboidal
- El módulo antes mencionado solo aparece en proporciones de tamaño y cantidades necesarias acorde a las zonas de contacto con mayor variabilidad (inferior, o palmar), reduciéndose a dos por lado.

3.2.4. Desarrollo de soluciones formales

A los resultados de cada definición prototipada se añade criterios de diseño que definen soluciones formales adicionales a las desarrolladas mayoritariamente en este proyecto, dotando así de consideraciones relativas a la función indicativa y simbólica del dispositivo desarrollado. Adicionalmente, la morfología no discrimina entre zurdo y diestros, por lo que no se restringe la simetría hacia un lado u otro, trabajando con simetría completa.

Las alternativas de propuesta formal se evaluaron a partir de testeos de usabilidad explicados más adelante. Estas integran las soluciones de rombo-botón, burbuja y retícula horadada.

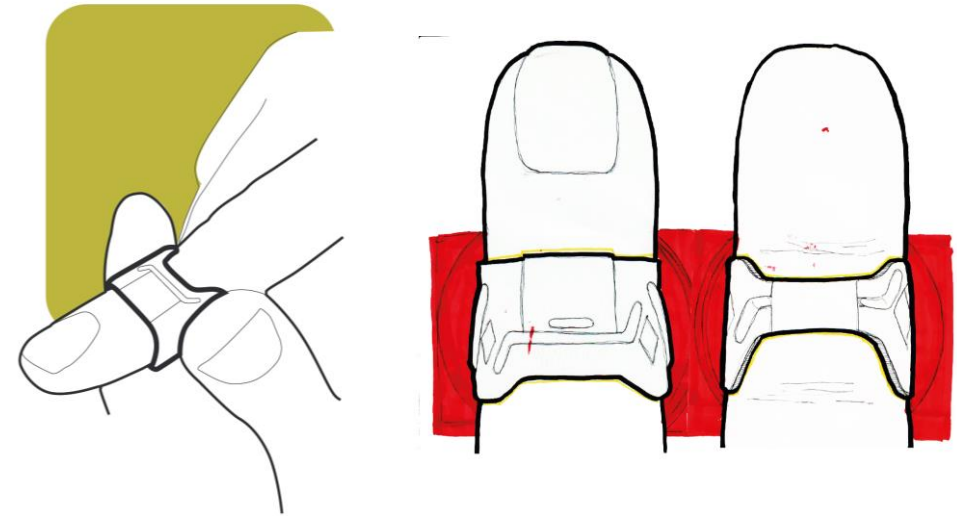
Prototipo Físico Enfocado

Variantes sistema de amortiguación: Percepción de confortabilidad por apriete

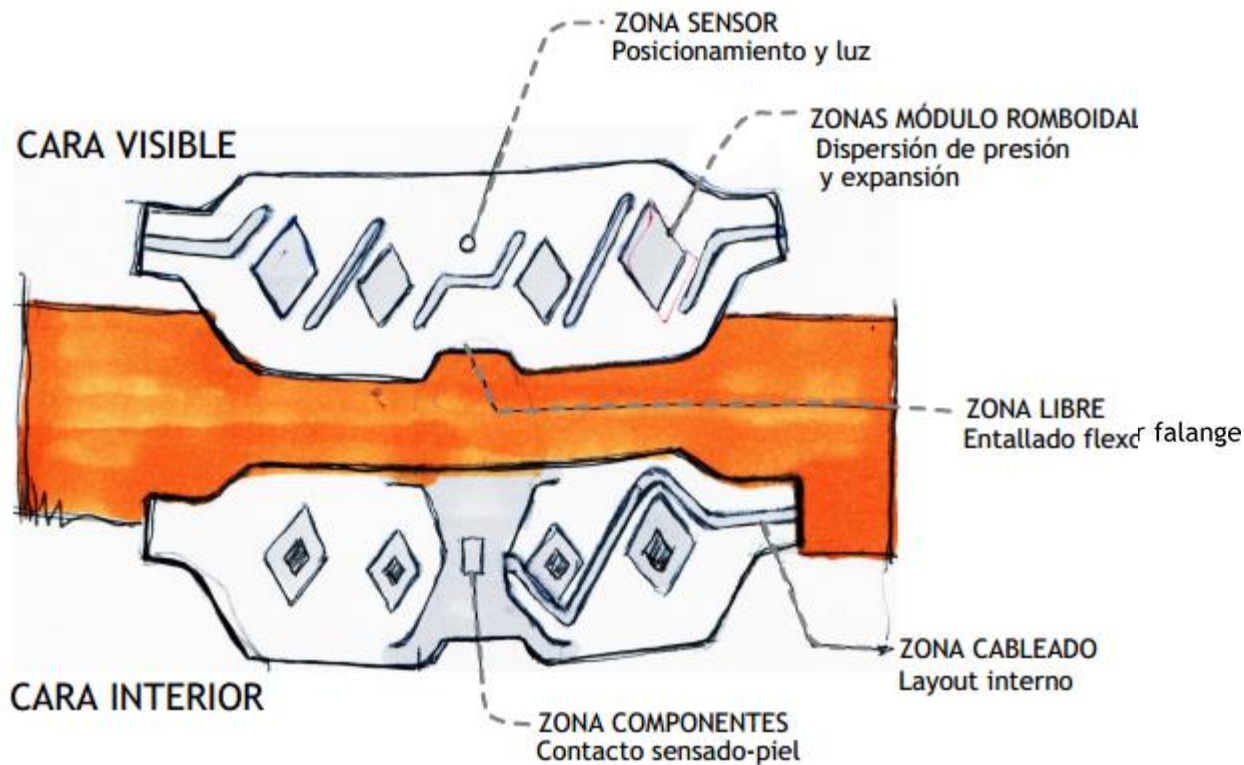


Fuente: Claudia Valdivia y Jazmín Peña.

Para indicar su posición, se hace uso de un bajorrelieve, de modo que ayude a su correcto posicionamiento. Este componente se toma en consideración para proponer una instancia posterior, como lo es el packaging del producto. Formalizando la instancia de posicionamiento del anillo se contempla una introducción inductiva que establecería el uso en el dedo anular de la mano no dominante. Las propuestas integran la aproximación cónica del anillo potenciando la lectura de orientación en el posicionamiento referido al extremo distal. Además, aportando coherencia a través de la redundancia de los elementos indicativos, el borde proximal se le es sustraído material como remate, al igual que funcionalmente se da en botas y guantes, corte de entrada referencial y a su vez indicativo de agarre. La correcta orientación del sensor para la toma de información, una vez puesto el anillo, está indicada mediante un aumento de volumen sobre el cual se encuentra un bajorrelieve, que debe ir orientado hacia el dorso de la mano. La parte del objeto orientada a la palma conserva su espesor y disminuye en ancho. Estas características, que obedecen a la funcionalidad del objeto, también indican que su orientación es similar a la de las piedras o relieves en un anillo de joyería.



Fuente: Jazmín Peña.



Fuente: Jazmín Peña.

Una vez determinada la configuración funcional (a nivel técnico) del anillo propuesto, se procesa a depurar su capacidad superficial, incorporando los elementos referenciales que guían expectativas perceptuales del trabajador como aquellos de carga simbólica. El anillo se debe fidelizar a su contexto industrial y en cuanto al nivel de tecnología de punta, otorgando un estatus al trabajador al vincular el uso con la valorización por la salud personal.

También se consideró el diseño de pistas de placas electrónicas, las cuales presentan líneas oblicuas y bordes aguzados, característica que aúna ambos referentes formales, tanto el médico como el industrial.



. El anillo se debe fidelizar a su contexto industrial y en cuanto al nivel de tecnología de punta, otorgando un estatus al trabajador al vincular el uso con la valorización por la salud personal.

De los elementos utilizados como referentes se rescató el uso de líneas oblicuas, usadas en las cintas de seguridad y en las cabinas y tolvas de maquinaria pesada como elementos formales presentes de forma recurrente en este tipo de industria.

Del entorno médico se considera la higienización de las superficies en peso visual (textura, color, etc), así como un parámetro representativo del componente vital, "el pulso" observado en presencia dominante en una gráfica y un sonido, encontrado en los aparatos destinados al monitoreo de signos vitales al utilizar motores de búsquedas online.

Fuente: Claudia Valdivia y Jazmín Peña.

Referentes estéticos



Down accesoring



Tecchie wearables



Gadgets



Fuente: Claudia Valdivia y Matías Birkner.

3.3. Validación de las consideraciones finales y diseño de detalles

3.3.1. Análisis comparativo en terreno

Se genera la integración de las propuestas al campo de uso mediante la formulación de pruebas de usabilidad, sin la incorporación del sistema de sensado, enfocadas a detectar reacomodaciones, percepción de uso relativo a discomfort, o desajustes y otros indicadores de pérdida de continuidad en la actividad.



Fuente: Jazmín Peña.



Fuente: Elaboración propia.
Matriz en material adhesivo termofundente (hotmelt) para producción de prototipos en silicona



Fuente: Elaboración propia.
Serie corta de anillo para pruebas de lectura (posicionamiento) en usabilidad



Perceptualmente todos los trabajadores declararon sentir la presión del anillo, pero la describieron como no incómoda. El uso de un guante de cabritilla no afectó esta percepción. Al realizar una actividad (corte de un tubo de fierro), los trabajadores declararon sentir el anillo, pero no percibir molestias; al concentrarse en la actividad la percepción del anillo se redujo.

Al preguntar cuál de los tres modelos puestos a prueba presentaba mayor incremento de presión al hacer un ejercicio de flexión, los cuatro trabajadores declararon que el anillo perforado presentaba un mayor aumento, debido a que su apriete inicial era ligeramente menor. Mientras que los anillos con burbujas y botones romboidales presentaron ambos un aumento apenas perceptible en su apriete.

Fuente: Jazmín Peña.

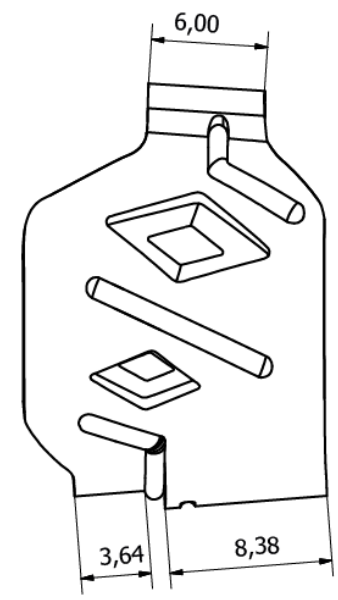
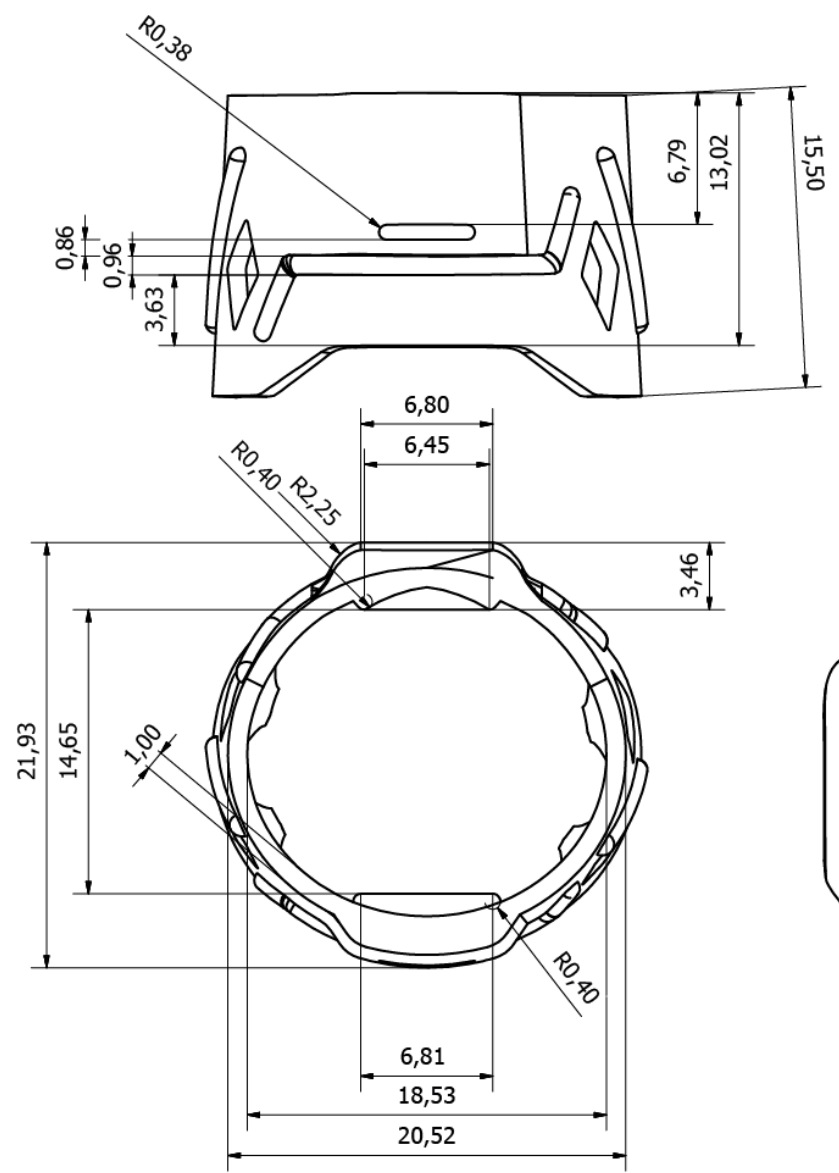


Fuente: Jazmín Peña.

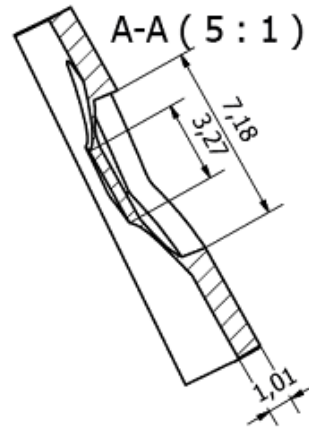
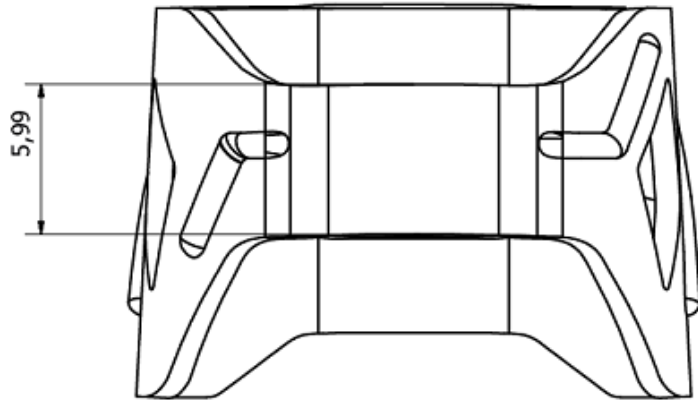
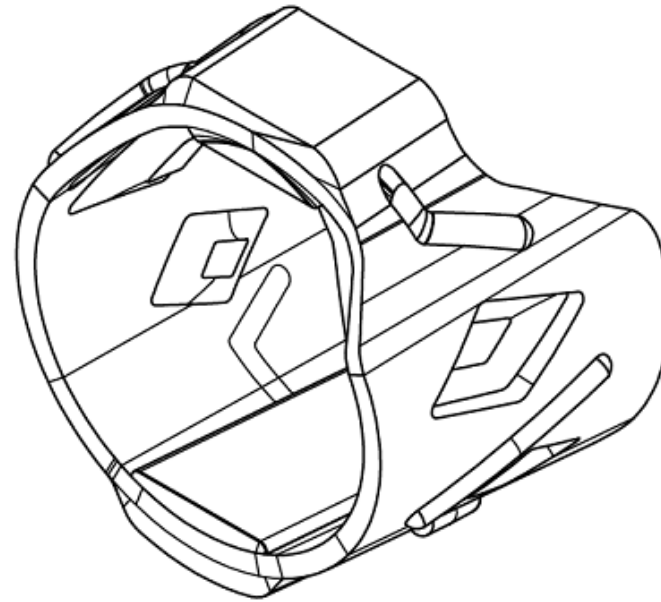
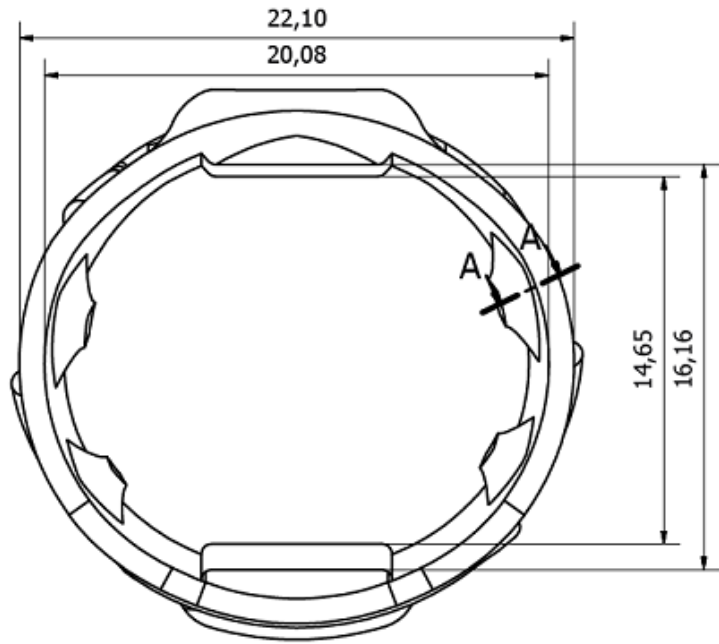
3.3.2. Consideraciones de diseño de detalles

De tomarse a consideración un rediseño respecto al testeo de usabilidad, se debe reformular el elemento indicador del rebaje para mejor entender la parte distal del anillo.

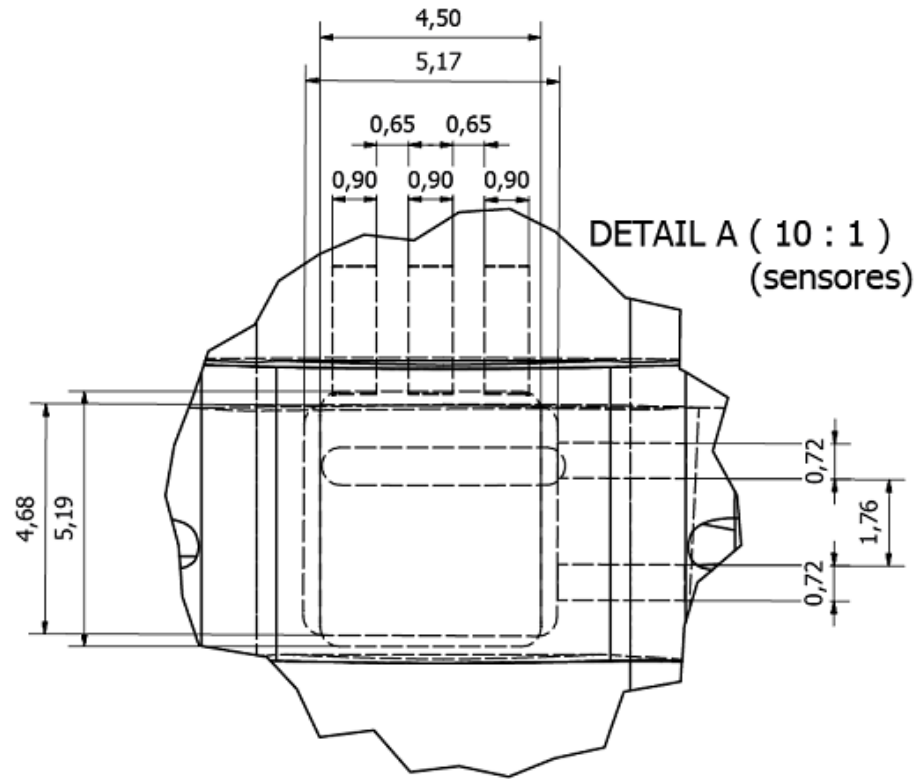
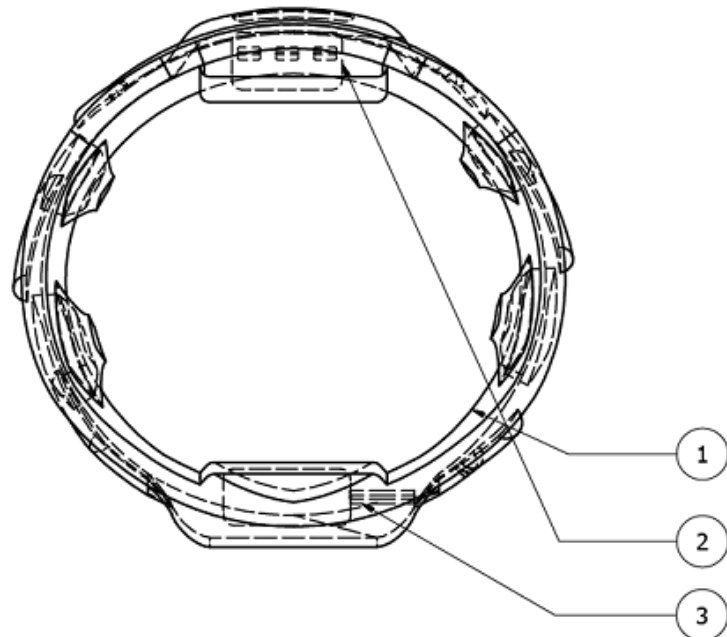
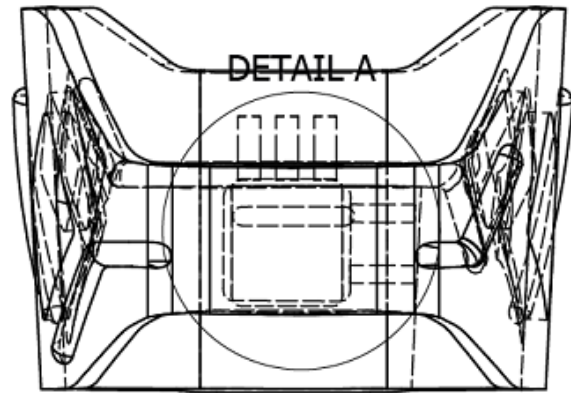




Diseñador CLAUDIA VALDIVIA	Profesor Guía RODRIGO DIAZ	PROYECTO DE TÍTULO PROFESIONAL	Fecha 30/11/2015
SENSAT		DISPOSITIVO DE SENSADO DE HIPOXEMÍA	
		Dimensiones Generales	Escala 5:1



Diseñador CLAUDIA VALDIVIA	Profesor Guía RODRIGO DIAZ	PROYECTO DE TÍTULO PROFESIONAL	Fecha 30/11/2015
SENSAT		DISPOSITIVO DE SENSADO DE HIPOXEMÍA	
		Dimensiones Generales	Escala 5:1
		Sheet 2 / 2	



PARTS LIST	
ITEM	PART NUMBER
1	Banda Anillo
2	Sensor 1
3	Sensor 2

Diseñador CLAUDIA VALDIVIA	Profesor Guía RODRIGO DIAZ	PROYECTO DE TÍTULO PROFESIONAL	Fecha 30/11/2015
SENSAT		DISPOSITIVO DE SENSADO DE HIPOXEMÍA	
		Dimensiones Generales	Escala 5:1 Sheet 3 / 3

Del producto a la manufactura

Pasos para la serialización:

- 1 SIMULACIÓN CAD ESTRUCTURAL
análisis de materialidad y mecánica
- 2 DISEÑO DE MOLDE PARA INYECCIÓN
manufactura y testeo de moldes
y piezas plásticas
- 3 NEGOCIACIÓN PROVEEDORES
partnership sistema eléctrico y
fábrica para serie corta



Propiedades del caucho silicona:

- Transmitancia e iluminación alta
- Elongación elevada (400 a 600%)
- Fuerza dieléctrica elevada
- Propiedades mecánicas tensiles mejores que cauchos y engomados
- Temperatura de operabilidad desde -55°C a +300°C
- Claridad y propiedades translúcidas y de tinción
- Terminaciones diversas de postprocesado y en moldaje

Componentes del producto:

-  Caucho Silicona Líquido
Low Compression LSR (baja compresión)
-  Led - longitud de onda máxima:
660nm (Infrarojo)
880 nm (Rojo)
-  Entorno de almacenamiento:
-20°C a 55°C; humedad < 95%
Entorno de funcionamiento:
5°C a 40°C; humedad < 80%
-  Fuente de alimentación:
Batería Litio - ión
Sistema recargable vía MicroUSB.

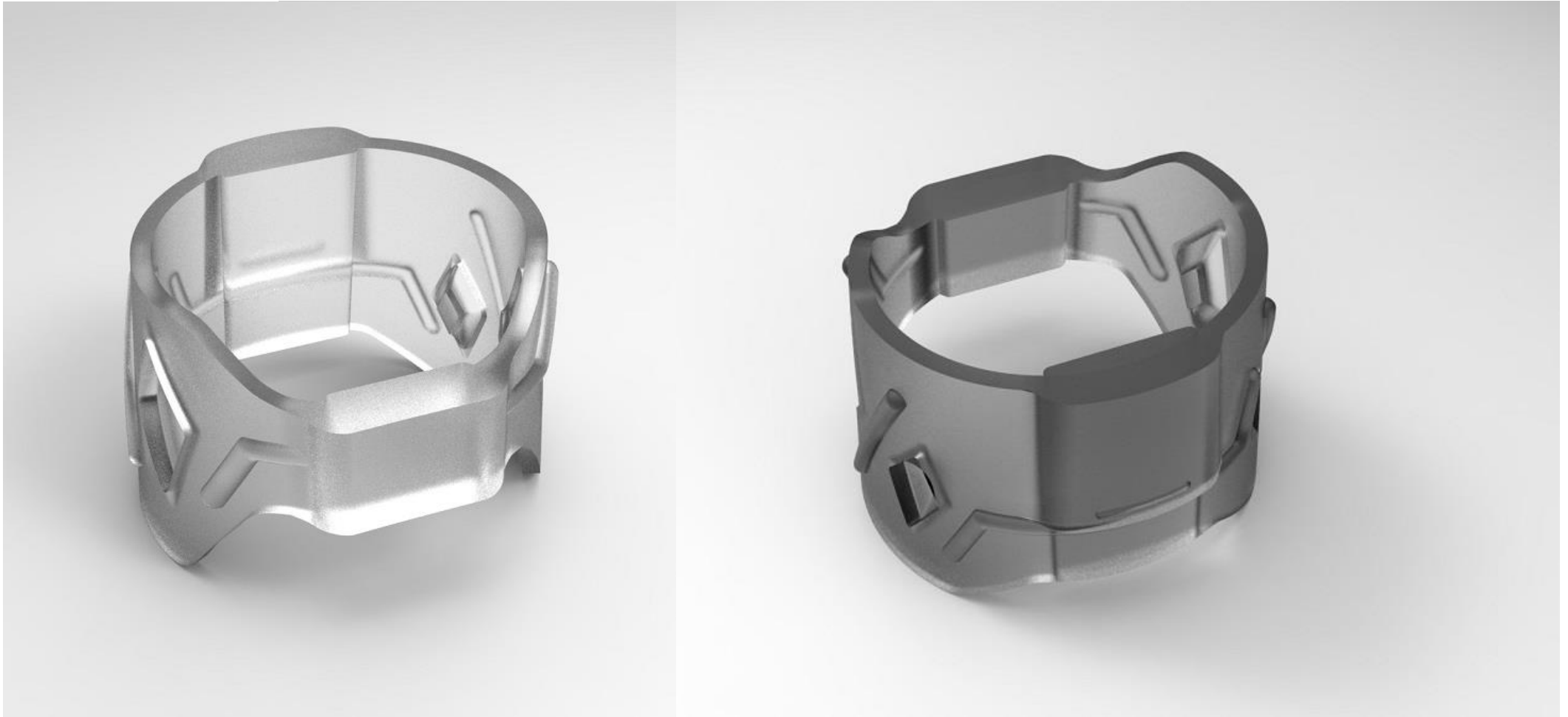
Proceso productivo de inyección de sobremoldeo:



Caucho silicona líquida para sobremoldeo por inyección, cuyo sistema de molde inserto consta de 2 etapas y valorizada su matriz en 6000-9000 USD. Sus principales ventajas: apto para lograr geometrías complejas, es un trabajo completamente automático, sin postprocesado ni tratamientos secundarios, sin residuos ni rebabas, y con ciclos de tiempo cortos por alta velocidad de curado.

3.3.3. Proceso de digitalización

Para realizar las últimas validaciones, que incluyen simulaciones digitales relativas a fuerzas de tensión y compresión, y posteriormente simulaciones del proceso productivo de coinyección de polímeros termoplásticos con los componentes electrónicos y luego polímero elastómero como silicona de platino, se procede a modelar el diseño final para sobre moldeo.



Renderizados del anillo con características semi-transparentes y opaco mate pero sin los componentes electrónicos.

Fuente: Luciano Fernández.



Renderizado anillo completo.

Fuente: Luciano Fernández.

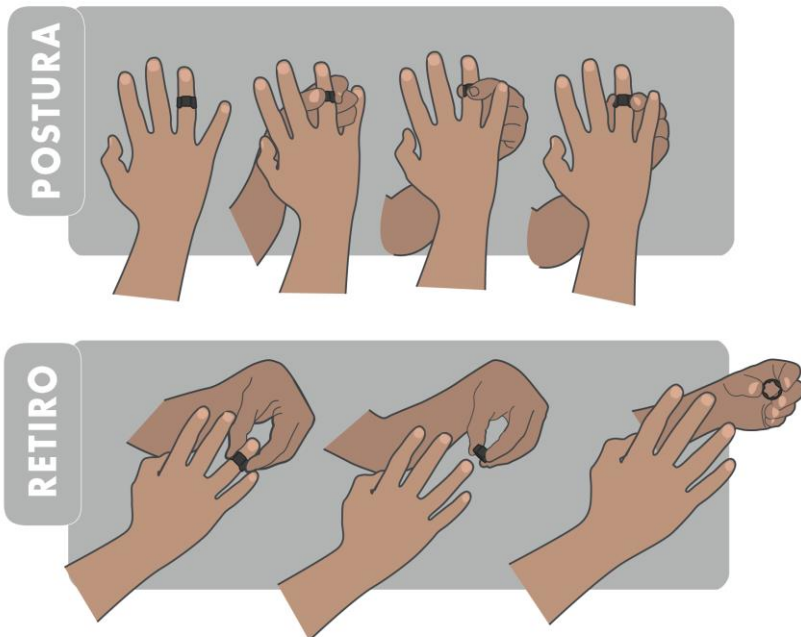


Conclusiones

Resultados

Se ha obtenido un medio portable y adosado al cuerpo humano que no es disruptivo al momento de integrar la tecnología a las actividades habituales. El desarrollo del producto permite corroborar que la adosabilidad de dispositivos tecnológicos inteligentes, de forma no disruptiva, es posible en la medida en que su incorporación se diseña en torno a la permanencia; esto implica entender al cuerpo humano como objeto de morfología dinámica y la persona como juez perceptual. En este último punto cabe destacar que la sutileza, o la “no percepción”, de indumentaria utilizada no es el único modo en que se aborda la tarea de promover la aceptación de su uso: las texturas, los roces con la piel y las presiones ejercidas por los objetos adosados al usuario también deben considerarse como elementos propios de la función indicativa del producto, y el mensaje que estas entregan promueve o desalienta su uso. En adición, el anillo permite que se de la sensación de seguridad en su permanencia, y esto se da por la presión que se siente al llevarlo puesto, diferente a la presión que llega a generar discomfort. En este caso la presión ejercida por el anillo, localizada en la parte dorsal y palmar de la falange, entrega al usuario el mensaje de un sentido efectivo y caracteriza a este anillo respecto a un anillo de joyería.

Modo de uso



Conclusiones

A nivel general es posible decir que el desarrollo de las tecnologías no siempre va a la par con su correcta aplicación en determinados contextos de uso; y es en estos casos en los que el rol del diseñador, como ente gestor de la relación entre el usuario, la herramienta y el objetivo, se hace patente, permitiendo aprovechar todo el potencial de las tecnologías desarrolladas en beneficio de los usuarios. Esto se debe a que el diseñador trabaja a partir del contexto de uso y las necesidades del usuario, estudiando todas las relaciones que es posible establecer entre ellas y la herramienta en desarrollo; en lugar de trabajar pensando solo en la solución de un objetivo planteado previamente. Esto posibilita la apertura de nuevos escenarios susceptibles de ser abordados desde otros puntos de vista.

Si bien la tecnología dedicada a la oximetría existe con anterioridad a este proyecto y es utilizada ampliamente; no ha sido bien adaptada a las condiciones del contexto de estudio, lo cual limitaba su aplicación a entornos controlados, donde el movimiento del usuario y las condiciones climáticas son constantes. La adaptación, por parte del diseño, de esta tecnología al caso de estudio permite no solo obtener información objetiva en el tiempo, sino que asociar los distintos datos obtenidos durante el día a los diferentes contextos a los que se enfrenta el usuario durante su jornada; lo cual potenciaría el rediseño de los entornos y tiempos de trabajo.

La existencia de numerosas antropometrías en el espectro de usuarios plantea la problemática del tallaje para el objeto diseñado. El desarrollo de este objeto se vio en la necesidad de hacer un acercamiento a un tallaje estándar para múltiples usuarios. Se concluye la existencia de dos formas, no excluyentes, de abordar esta problemática. Una de ellas es el uso de materiales elásticos, mientras que la otra consiste en la creación de estructuras capaces de variar formalmente, adaptándose a las distintas antropometrías. Al no ser excluyentes entre sí, estas alternativas son capaces de generar múltiples soluciones que aun pueden ser exploradas.

Si bien, se evaluaron soluciones que pudieron ser más factibles desde un punto de vista técnico, no respondían bien a las necesidades de usuarios diestros y zurdos, pues no reflejaban en su morfología el grado de simetría del cuerpo humano. Aunque la adopción de una forma simétrica para el objeto diseñado presenta nuevos desafíos a nivel funcional y técnico durante el proceso de diseño, permite la utilización del objeto final por parte de usuarios diestros y zurdos de forma inclusiva.

Proyecciones

Además de los mejoramientos técnicos que vienen con la actualización de los componentes, es posible proyectar la integración de nuevos sensores en el dispositivo capaces de percibir los movimientos de la mano (acelerómetro) con tal de desactivar el proceso de sensado cuando la postura del usuario altere los resultados (ejemplo), reduciendo así la aparición de falsos positivos. Adicionalmente, el algoritmo que procesa los datos obtenidos por la sonda oximétrica podría mutar para identificar lecturas erróneas producto de estas u otras situaciones y descartarlas del informe principal, dejando igualmente un registro de estas lecturas.

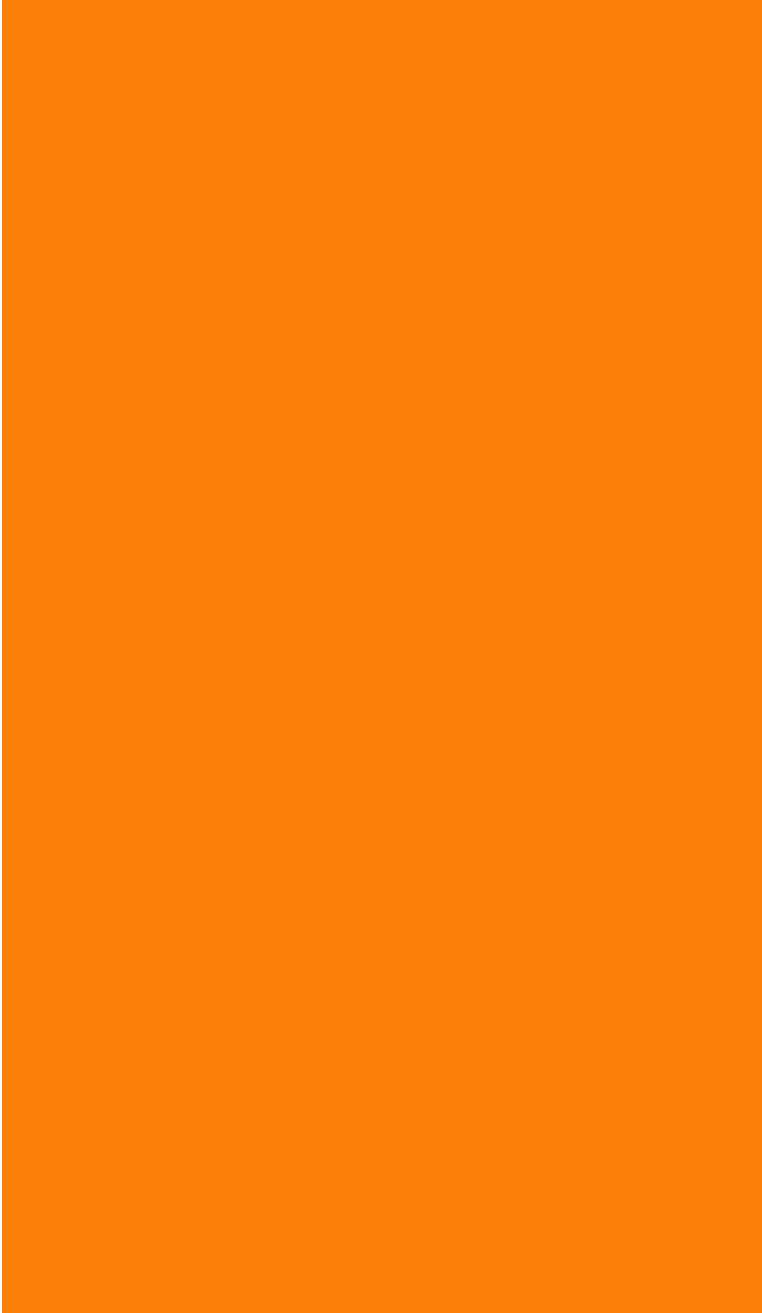
Desde el punto de vista del sistema-producto, este objeto tiene proyección como parte de una constelación de productos destinados a sensar otros parámetros durante las faenas, como la integración del sensado del ritmo cardiaco en las prendas de primera capa o el monitoreo de la presión sanguínea integrado a parte del equipo de seguridad; lo cual derivaría en un sistema integral de gestión de riesgos laborales basado en la detección.



Glosario

- ▶ Computación en la nube: Cloud computing, machine to machine (M2M).
- ▶ Computación Ubicua, Pervasiva o Informática generalizada: Ubiquitous Computing, nombrada en un principio por Mark Weiser en 1988, trabajador de PARC como jefe de tecnologías del centro de investigación de Xerox en California, Estados Unidos, desarrolladores de la impresión laser, el Ethernet, la interfaz grafica de usuario, o GUI, entre otras invenciones. Similar a Everyware, termino acunado por Adam Greenfield, donde todos nuestros alrededores se vuelven sitios de mediacion y procesamiento, y se nos dan opciones en todo momento, y The Internet of Things, o IoT, que refiere a espacios atentos y objetos interconectados, termino propuesto por Kevin Ashton en 1999, y popularizado por el MIT.
- ▶ Enfermedades laborales: las causadas "de una manera directa por el ejercicio de la profesión o trabajo que realice una persona y le produzca incapacidad o muerte" acorde a lo publicado por el SESMA el 2001 en apuntes técnicos del departamento de salud en el trabajo; también llamadas enfermedades profesionales, o enfermedades ocupacionales.
- ▶ Human analytics: análisis humano, que se refiere a las estadísticas de las personas acorde a un análisis sistemático y computacional de los datos, o al proceso científico de la transformación de datos en observaciones para tomar mejores decisiones, o refiere al descubrimiento y comunicación de patrones significantes en datos.
- ▶ Minería de datos: Data mining, Big data.
- ▶ Modernidad: deviene en el termino Liquid Modernity, o modernidad tardía, en vez de post-modernidad.
- ▶ Prevención de riesgos: refiere al conjunto de medidas o actividades que se prevenen o adoptan en las diferentes fases de cada actividad de la organización con la finalidad de disminuir o evitar riesgos, según la OISS.
- ▶ Tecnología: abarca dos acepciones: conocimiento desarrollado por el humano para crear, investigar y generar mayor conocimiento, y artefacto de carácter instrumental.

que brinda soluciones para facilitar bienestar o alguna necesidad. Debe ser entendida desde el punto de vista de la economía como la combinación de factores y productos viables, donde actúa como pieza central para analizar las decisiones de producción de una empresa o sector (CINTEL, 2009).



Referencias

Arunesh, Ch., Chandna, P. & Deswal (2011). *Analysis of hand anthropometric Dimensions of Male Industrial Workers of Haryana State*. Extraído el 24 de Junio de 2014 desde <http://www.cscjournals.org/library/manuscriptinfo.php?mc=IJE-286>.

Assange, J. (2012) *Cyberpunks: Freedom and the future of the internet*. New York; Londres: OR Books.

Begole, B. (2011). *Ubiquitous Computing for Business: Find New Markets, Create Better Businesses, and Reach Customers*. Trabajo presentado en el seminario PARC Forum, Abril, Palo Alto, CA, Estados Unidos.

Bell, D. (1973). *The coming of post-industrial society: A venture in social forecasting*. New York: Basic Books.

Camara de diputados de Chile (2013,17 de Septiembre). *Diputados solicitan la implementacion de planes preventivos de enfermedades profesionales en el rubro de la mineria*. Extraído el 20 de Diciembre de 2013 desde http://www.camara.cl/prensa/noticias_detalle.aspx?prmId=79188

Carvajal, Y. (2001). *Apuntes Técnicos sobre Enfermedades Profesionales*. Extraído el 28 de Noviembre de 2013 desde http://www.asrm.cl/Archivos/Servicios/estudio_manual_enf_prof.pdf

Castells, M. (2009). *The rise of the network society, the information age: Economy, society and culture vol. I*. (2da ed.). Cambridge, MA, Estados Unidos; Oxford, Reino Unido: Blackwell.

CINTEL, (2009). *InteractIC Documentos técnicos no. 04 año 03: Vigilancia tecnológica en telemedicina*. Extraído el 13 de Noviembre de 2013 desde <http://www.slideshare.net/rogersdb4/vigilancia-tecnologica-en-telemedicina>

CONICYT (2010). *Tecnologías de la información y la comunicación en Chile: áreas de investigación y capacidades. Informe de estado del arte*. Extraído el 07 de Noviembre de 2013 desde <http://www.conicyt.gob.cl/573/article-40716.html>

El Dinamo (2013). *ACHS y los nuevos desafíos en prevención de riesgos y salud laboral*. Extraído el 20 de Diciembre de 2013 desde <http://www.eldinamo.cl/2013/06/04/achs-y-los-nuevos-desafios-en-prevencion-de-riesgos-y-salud-laboral/>

Entel (2013, Julio). *4 tendencias en las que su empresa debe invertir*. Re_Vista entel: Ministerio de Salud y su nueva red de salud digital, 19-20

Ford, O. (2013). *Continuum points out 3 trends in medical devices*. Extraído el 11 de Septiembre de 2013 desde http://medicaldevicedaily.com/servlet/com.accumedia.web.Dispatcher?next=bioWorldHeadlines_article&forceid=82344

González, H. (2010, Febrero). *Importancia de la tecnología en las empresas. Contribuciones a la Economía*. Extraído el 03 de Diciembre de 2013 desde <http://www.eumed.net/ce/2010a/>

Guardino, X., Obiols, J. (2001), *NTP 586: Control biológico: concepto, practica e interpretación*. Extraído el 01 de Diciembre de 2013 desde http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/501a600/ntp_586.pdf

Ivñez, J. (2000). *La gestión del diseño en la empresa*. España: Me Graw Hill.

Katz, C. (1998). *Determinismo Tecnológico y Determinismo Histórico-Social*. Extraído el 12 de Diciembre de 2013 desde <http://katz.lahaine.org/?p=19>

La otra voz (2013,10 de Mayo). *Académico de la USM señala enfermedades laborales más comunes*. Extraído el 04 de Diciembre de 2013 desde <http://www.laotrazo.cl/academico-de-la-usm-senala-enfermedades-laborales-mas-comunes/>

Mendoza, D., Paredes, N., Trejo, J. & Zagal, G. (2009). *Licenciatura en ciencias de la informática: fundamentos de la computación. Unidad 4: "Ambientes de procesamiento de datos"*. Extraído el 10 de Diciembre de 2013 desde <http://www.slideshare.net/Theboops/unidad-4-ambientes-de-procesamiento-de-datos-2489574>

Ministerio de Salud (s.f.). *Salud ocupacional*. Extraído el 02 de Septiembre de 2013 desde http://web.minsal.cl/SALUD_OCUPACIONAL

Oficina Internacional del Trabajo (2013). *Prevención de enfermedades profesionales*. (Sección de formulación de políticas). Extraído el 19 de Diciembre de 2013 desde http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/—ed_norm/—relconf/documents/meetingdocument/wcms_204788.pdf

Organización internacional del trabajo (2012). *Enciclopedia de la salud y seguridad en el trabajo*. Extraído el 01 de Diciembre de 2013 desde <http://www.insht.es/portal/site/Insht/menuitem.lfla3bc79ab34c578c2e8884060961ca/?vgnextoid=a981ceffc39a5110VgnVCM100000dc0ca8c0RCRD8ivgnextchannel=9f164a7f8a651110VgnVCM100000dc0ca8c0RCRD>

Redondo, P. (2004). *Salud ambiental y ocupacional*. Extraído el 25 de Septiembre de 2013 desde <http://www.cendeiss.sa.cr/cursos/decimasaludocupacional.pdf>

Rodríguez, G. (s.f.). *Manual de diseño industrial*. (3⁵ ed) México: G. Gilli.

Salazar, C. (2013). *Las TICs como herramienta a la gestión empresarial*. Extraído el 15 de Diciembre de 2013 desde http://cibermundos.bligoo.com/content/view/145501/#.Urhj_vR92IU

Sánchez, M. (2005). *Morfogénesis del objeto de uso: La forma como hecho social de convivencia*. Colombia: Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

Sport & Development (2012). *What is Monitoring & Evaluation (M&E)?*. Extraído el 10 de Diciembre de 2013 desde http://www.sportanddev.org/en/toolkit/monitoring_evaluation/whatismonitoring_evaluation_me/

Ulrich, K. (2010). *Design: Creation of Artifacts in Society*. Pennsylvania: University of Pennsylvania.

Universidad de Valparaíso de Chile (2012, 16 de Abril). *"Chile esta varios pasos atrás todavía en salud laboral"*. Extraído el 15 de Diciembre de 2013 desde <http://www.uv.cl/pdn/?id=4214>

University of Tokyo (2013). *Big data for designing the future*. Abstract de los trabajos presentados en el seminario UTokyo Forum: Global emergence of frontier knowledge, Noviembre, Santiago, Chile.

Workplace Safety and Health Council (2011). *Statutory medical examination: Statutory medical examinations*. Extraído el 13 de Noviembre de 2013 desde <https://www.wshc.sg/>

