

**Universidad de Valparaíso
Escuela de Kinesiología
Facultad de Medicina**

**INTELIGIBILIDAD DEL HABLA ENTRE USUARIOS PORTANDO ELEMENTOS DE
PROTECCIÓN PERSONAL (EPP) EN AMBIENTE INDUSTRIAL A TRAVÉS DE
SISTEMAS DE COMUNICACIÓN RADIAL:**

**PROCEDIMIENTO PARA UNA EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL ÍNDICE DE
TRANSMISIÓN DEL HABLA (STI) ENTRE EQUIPOS CONVENCIONALES,
EQUIPOS CON VÁLVULA FÓNICA Y DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS DE
INTERCOMUNICACIÓN INALÁMBRICA**

**TRABAJO PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN ERGONOMÍA Y
FACTORES HUMANOS**

**AUTOR: JORGE IGNACIO MORALES UNDURRAGA
PROFESOR GUÍA: CARLOS VIVIANI**

**Klgo, MSc, PhD.
Escuela de Kinesiología
Facultad de Medicina
Universidad de Valparaíso**

**Valparaíso-Chile
2024**

Índice

Índice	1
1.Resumen Ejecutivo	2
2.Introducción	3
2.1. Contexto	4
2.2. Identificación del problema	4
2.3. Justificación y alineamiento investigativo	5
3.Marco teórico	6
3.1. Primeros antecedentes académicos.	6
3.2. Diseño de una nueva investigación.	6
3.3. Estudio preliminar de antropometría	7
3.4 Norma ISO y tabla bivalente de Niosh	7
3.5 Usabilidad en componentes electrónicos, tecnología amigable.	7
3.6. Cómo medir la claridad en la comunicación: La Inteligibilidad del habla	8
3.7. Índice de Inteligibilidad (SII), Índice de transmisión de voz (STI) y sus medición.	8
4. Metodología	10
4.1. Antecedentes para la definición de objetivos	10
4.1.1. Objetivo general	11
4.1.2. Objetivos específicos	11
4.2. Metodología de prototipado	12
4.2.1 Prototipo incremental	13
5. Resultados	14
5.1. Prototipo para el simulador de cabeza adecuado para exposición a altos decibeles.	14
5.2. Prototipo para estudio de reproducción de ambiente a altos decibeles.	18
5.3. Método para medición de STI en diferentes escenarios simulados.	19
6. Discusión	21
6.1 Metodología de prototipado incremental y alcanzar objetivos métricos.	21
6.2 Resultados esperados en la aplicación del procedimiento.	22
6.3 Estudios posteriores, prueba subjetiva con usuarios reales en terreno.	24
7. Conclusión	25
8. Bibliografía	28
9. Anexos	31
9.1 Análisis antropométrico preliminar	31
9.2 Consideraciones electrónicas de diseño	42
9.2 Consideraciones anatómicas de diseño	58

1. Resumen Ejecutivo

Este trabajo de investigación representa un avance significativo en el desarrollo de una innovación tecnológica dirigida a mejorar la protección industrial, tanto respiratoria como auditiva, facilitando una comunicación efectiva incluso en entornos altamente contaminados. A través de observaciones en terreno, se identificó que uno de los principales motivos del descuido en el uso de equipos de protección personal radica en la necesidad de los trabajadores de remover los respiradores para hablar o los protectores auditivos para escuchar. Esta acción se debe a que estos dispositivos, si bien protegen del entorno contaminante, también aíslan al usuario de cualquier forma efectiva de comunicación, ya sea presencial o mediante radios portátiles de dos vías comúnmente utilizadas en entornos industriales.

La innovación propuesta consiste en un sistema electrónico integrado dentro de los elementos de protección personal que extiende el sistema de radio, permitiendo a los trabajadores hablar dentro del respirador y escuchar dentro del protector auditivo. Este enfoque no solo preserva el aislamiento necesario para la protección, sino que también mejora significativamente la claridad de la comunicación, proporcionando una inteligibilidad suficiente para una interacción segura y productiva entre los usuarios del sistema intercomunicador.

La calidad de la comunicación se evalúa utilizando el índice de transmisión de voz estandarizado por la norma IEC 60268-16, conocido como *Speech Transmission Index* (STI). Este índice califica la inteligibilidad de la comunicación en una escala del 0 (comunicación totalmente ininteligible) al 1 (comunicación clara y efectiva). La implementación de esta nueva tecnología requiere el desarrollo de procedimientos y herramientas específicas para comparar el STI entre elementos de protección convencionales, aquellos equipados con válvula fónica, y el sistema de intercomunicador integrado en los equipos de protección personal.

El enfoque metodológico adoptado para este proyecto es el modelo de prototipo incremental, que promueve la creación iterativa de modelos, maquetas y prototipos para alcanzar la estandarización en la medición del STI. Los resultados obtenidos subrayan la importancia de avanzar en el desarrollo hacia la creación de instrumentos de medición especializados. Esta investigación concluye que la colaboración de un equipo interdisciplinario de profesionales es fundamental para abordar los desafíos de certificación y mejora continua, especialmente en el contexto de nuevas tecnologías destinadas a mejorar las condiciones de seguridad de los trabajadores expuestos a riesgos físicos en sus lugares de trabajo.

2.Introducción

La capacidad de adaptación y forma de resolver los problemas del cerebro humano es sin duda un tema fascinante. El uso de todos los recursos disponibles, incluso hasta los más mínimos detalles, formulan la realidad percibida y nos posicionan en un ambiente conocido, seguro.

En el plano de la comunicación, al momento de enviar y recibir un mensaje, el sonido de la voz es muchas veces apoyado por la gesticulación de las manos y otra serie de elementos propios del lenguaje corporal. Sin embargo, cuando las condiciones acústicas son desfavorables, el lenguaje corporal y los elementos de apoyo se tornan primordiales para la comprensión eficaz. Es más, el entorno percibido y una frase de contexto muchas veces nos es suficiente para descifrar o incluso anticipar el siguiente mensaje en la comunicación.

Por otro lado, las condiciones acústicas inadecuadas de un recinto pueden afectar la comunicación por razones relacionadas directamente con la alteración material de la emisión; por ejemplo: la interpretación incorrecta de una orden o instrucción derivada de la confusión de los sonidos; o bien, indirectamente, mediante los efectos psicofísicos de la fatiga, irritabilidad y desconcentración que afectan a los sujetos expuestos a un ambiente ruidoso. (Sommerhoff & Rosas, 2007)

La presente investigación, del tipo proyecto de desarrollo, consiste en desarrollar una propuesta de medición de los índices de inteligibilidad del habla entre usuarios de diferentes tipos de elementos de protección personal, respiratorios y auditivos, en ambientes simulados con contaminantes, con el objetivo de evaluar y comparar alternativas de soluciones tecnológicas que permitan mitigar o erradicar la exposición por descuido o remoción de la protección para comunicarse de forma efectiva.

El origen del proyecto proviene de la necesidad del Departamento de Investigación y Desarrollo de la empresa nacional Masprot, de comparar un prototipo de producto sistémico, el cual consiste en integrar elementos electrónicos que permitan la comunicación de trabajadores portando elementos de protección personal de forma segura y eficiente. El lugar donde se diseñará y desarrollará este procedimiento es en la planta de fabricación de elementos de protección personal de la empresa nombrada, ubicada en la comuna de San Miguel, Santiago. La investigación y desarrollo de este producto se ha desarrollado desde el primer semestre del año 2022 a la fecha, por lo que los resultados de este proyecto se pretenden aplicar para el segundo semestre del 2024.

La correcta implementación de esta evaluación comparativa permitirá valorar mediante un puntaje objetivo el aporte tecnológico hacia puestos de trabajo de alta exposición a contaminantes nocivos, aportando a mejorar la protección permanente y la comunicación de sus usuarios.

2.1. Contexto

Cuando nos referimos al ambiente laboral o entorno en un puesto de trabajo, comúnmente lo asociamos a las condiciones ambientales psicosociales en las que se lleva a cabo una actividad laboral, sin considerar que muchos entornos laborales continúan siendo extremadamente hostiles en factores de seguridad ambiental, inclusive nocivos. Un ambiente de trabajo seguro y saludable es esencial para el bienestar de los trabajadores y la productividad de la empresa (Caroca, 2021, 6). Sin embargo, en numerosas actividades laborales los entornos se encuentran contaminados por factores de riesgos físicos, que exponen a los trabajadores a contraer enfermedades ocupacionales, tanto por contaminantes respiratorios en una atmósfera peligrosa (Moreno, 1995), como por contaminación acústica (Sánchez, 2000), muchas veces de forma continua y en altas concentraciones. Para evitar esta exposición, los trabajadores que se desempeñan en estos puestos de trabajo deben portar elementos de protección personal (EPP) al momento de entrar y permanecer en estos ambientes de condiciones extremas.

En los entornos industriales contaminados, donde se han establecido normas de higiene y seguridad para proteger a los trabajadores (D.S N°594), se han identificado conductas o comportamientos que descuidan la protección personal en situaciones de exposición, principalmente por problemas o falencias al momento de comunicarse de manera presencial con compañeros de trabajo o con líneas de supervisión mediante la utilización de equipos de radio portátil.

Bajo el entendimiento de que aquel puesto de trabajo está inserto en un sistema socio-técnico (Wilson, 2000), resulta evidente la necesidad de una intervención o mejora tecnológica que integre los sistemas de protección y los de comunicación, con énfasis en facilitar el desempeño de los trabajadores. La posibilidad de interactuar por medio del habla entre usuarios de protectores respiratorios y auditivos en ambientes contaminados es un desafío tecnológico posible a la espera de ser materializado.

2.2. Identificación del problema

El problema de los usuarios de protectores respiratorios (respiradores) y protectores auditivos (tapón auditivo o fono), en lugares donde deben usarse obligatoriamente, es que remueven los elementos de protección personal (EPP) para comunicarse con sus compañeros de trabajo. Los usuarios declaran, al ser preguntados por el comportamiento, que no hay una forma efectiva de comunicación que resuelva el problema, y que, además, a medida que la contaminación acústica aumenta, y las condiciones ambientales de respiración son críticas, incluso removiendo los elementos, la comunicación es deficiente o nula.

Las variables de este problema provienen principalmente del cómo funcionan los elementos de protección personal, los cuales son la última barrera de protección con la que cuenta el trabajador, por lo que el objetivo esencial es bloquear el contaminante, sacrificando muchas

veces confort, ángulos de visión, movilidad y comunicación, entre otros. Por otro lado, los elementos de comunicación industrial cuentan con accesorios que aspiran a dar solución al problema, sin lograr un buen resultado ya que no integran la protección al sistema electrónico.

2.3. Justificación y alineamiento investigativo

El abordar esta problemática se enmarca dentro del Plan Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo 2021 del ISP, específicamente dentro de sus programas de vigilancia ambiental, donde la exposición al material particulado en suspensión como a ruido industrial justifican la búsqueda de una propuesta de solución tecnológica sistémica, no solo facilitando una protección permanente a los trabajadores, sino que también aumentando su capacidad comunicativa, y por consecuencia también su productividad.

Las variables que relacionan las soluciones a evaluarse deben cumplir con la normatividad de protección, es decir tanto la protección respiratoria como auditiva deben cumplir con el estándar exigido en las respectivas normas, como también los equipos de comunicación que sean intrínsecamente seguros, y a los cuales se les medirá el grado de inteligibilidad del mensaje enviado y recibido por equipos tecnológicos de estudio en laboratorio, simulando los contaminantes descritos.

Entre los sistemas a testear, será evaluado un desarrollo tecnológico particular que integra los componentes de comunicación con el elemento de protección respiratoria (EPR) como el elemento de protección auditiva (EPA).

En base a lo presentado anteriormente, es posible declarar la siguiente hipótesis:

Si se integran los componentes electrónicos de comunicación adecuados, con los elementos de protección personal correspondientes, entonces mejorará significativamente la inteligibilidad de la comunicación entre sus usuarios, en particular en ambientes altamente contaminados, mejorando las condiciones de trabajo y coordinación sin descuidar la protección en ningún momento.

Para lograr corroborar o descartar una mejora significativa usando elementos electrónicos de comunicación en los elementos de protección personal, se requiere del diseño e implementación de una serie de dispositivos que permitan la medición estándar del STI, por lo que la presente investigación pretende articular una propuesta de factibilidad para medir comparativamente los sistemas anteriormente descritos.

3.Marco teórico

3.1. Primeros antecedentes académicos.

A modos de cimientos para este estudio, se han tomado como referencia la experiencia y los métodos utilizados en dos proyectos anteriores, los que requirieron horas de investigación y desarrollo en interdisciplinariedad provenientes de la ingeniería eléctrico/electrónica y desde el diseño industrial. El levantamiento de la información y las primeras observaciones en terreno que fueron develando la dirección de esta investigación se vinculan al proyecto de “Sistema de monitoreo móvil usando tecnología de arquitectura modular” (Contreras et al., 2012,1-4) y posteriormente en la tesis de ingeniería eléctrica “Diseño e implementación de una unidad de procesamiento de sonido para optimizar la comunicación de voz en máscaras de protección respiratoria” (Atenas, 2012), la cual integra en su contenido los conocimientos teóricos a los experimentados en aquel equipo de trabajo entre 2011 y 2012. El desenlace de este trabajo se materializa en un producto sistémico que integró un respirador y protectores auditivos a una extensión de la radio portátil o micrófono parlante mediante cables con terminales Jack 2.5 y Jack 3.5, conocido comercialmente como “Intercomunicador M900” (Lean, 2013).

3.2. Diseño de una nueva investigación.

Con un lapso de diez años desde la investigación inicial, se ha propuesto el desafío de mejorar la versión original aprovechando las mejoras tecnológicas disponibles, y elaborar un sistema de comunicación entre usuarios de EPP con un sistema de comunicación inalámbrico, que considere variables de gesticulación del habla para facilitar una comunicación clara y precisa. Se estudiaron las consideraciones ergonómicas necesarias para disminuir el impacto negativo en el usuario, en la realización de la tarea efectiva en un puesto de trabajo que exige usar un respirador de forma permanente (Johnson, 2016). Luego se continuó con las variables antropométricas necesarias para considerar el calce en el rostro del usuario respecto a las tallas (Rodríguez et al., 2020), y adecuar el elemento de protección estático a uno dinámico. Las dimensiones del cuerpo son de dos tipos: estructurales y funcionales. Las estructurales son de la cabeza, troncos y extremidades en posición de pie o sentado. Mientras que las funcionales o dinámicas son aquellas en donde está involucrado el movimiento realizado por el cuerpo en una actividad específica (Nariño Lescay et al., 2017). En ese momento de la investigación, el principal desafío parecía ser el diseño de la base de un respirador nuevo, esta es la parte blanda que contacta con el rostro, que permita movimientos propios de la gesticulación del habla sin romper el sello facial que permite la protección respiratoria.

3.3. Estudio preliminar de antropometría

Se realizó un análisis preliminar con un escáner 3D específico, el modelo **HX EinScan de Shining 3D**, con el objetivo de experimentar, documentar y evaluar la posibilidad de utilizar esta tecnología de forma masiva en trabajadoras y trabajadores del rubro minero o contexto industrial. La necesidad de realizar esta prueba era validar un estudio antropométrico de

cabeza y rostro de usuarios de elementos de protección personal, con la finalidad de mejorar el ajuste y flexibilidad de dichos elementos para agregar la funcionalidad de comunicación sin afectar la protección respiratoria y auditiva.

Previo a comenzar el escaneo, la especialista en ergonomía Sofía Valenzuela fue la encargada de identificar los puntos antropométricos relevantes y ubicar los stickers reflectantes para que el software los pueda identificar para un correcto procesamiento posterior.

Como resultado de la sesión se escanearon 8 voluntarios, y se almacenaron los datos en una carpeta virtual para realizar el análisis correspondiente. El escáner de prueba funcionó correctamente. Sin embargo, con la experiencia de realizar el levantamiento, se considera una reevaluación del método debido a su larga duración y costos asociados a una implementación masiva. El informe completo se encuentra disponible en anexo 1.

3.4 Norma ISO y tabla bivalente de Niosh

Tomando en consideración los resultados del estudio “Level of match between facial dimensions of Chilean workers and respirator fit test panels proposed by LANL and NIOSH” (Rodriguez et al., 2020) es posible argumentar que el estudio planteado en base al cambio tecnológico, el levantamiento de datos con tecnología de escáner versus tabla de mediciones análoga no se justifica, o al menos pierde relevancia.

Cabe destacar que la tabla NIOSH sirvió de base para el desarrollo de la ISO 16976-2:2022, por lo que es posible considerar que este método efectivamente abarca una parte importante y representativa de la población chilena. La antropometría en ergonomía busca, además de entender la proporcionalidad del cuerpo humano, diseñar productos, vestuario, espacios y equipamientos de manera que acomode a la mayor cantidad de la población posible (Castelluci et al., 2017).

3.5 Usabilidad en componentes electrónicos, tecnología amigable.

Sin duda una característica relevante del sistema de comunicación es que desde el comienzo se realizó siguiendo el proceso de diseño centrado en el usuario (DCU). La experiencia del usuario y sus requerimientos fueron considerados para poder crear el sistema que satisfaga las necesidades desde una interfaz que se deja usar. Además de las heurísticas para el diseño de interfaces del usuario, Jakob Nielsen (2012) define el término *usability* como una característica propia de una herramienta que reúne múltiples componentes, los cuales cumplen con cinco condiciones relevantes:

Debe ser fácil de usar, para que el usuario aprenda el sistema de manera rápida e intuitiva (Aprendizaje). Además, debe ser eficiente, permitiendo al usuario mejorar su productividad cuando la utiliza (Eficiencia). Asimismo, es de gran importancia que su funcionamiento sea fácil de recordar así el usuario puede recordar sin ningún problema cómo funciona luego de un tiempo sin utilizarlo (Memorable). El sistema también debe favorecer una baja tasa de error, de manera que el usuario sea menos propenso a cometer errores y, si comete errores, puede

corregirlos fácilmente (Acierto). Y, por último, el sistema debe ser agradable de utilizar, generando satisfacción al usuario (Satisfacción). (Ramírez - Acosta, 2017)

3.6. Cómo medir la claridad en la comunicación: La Inteligibilidad del habla

Dentro de la búsqueda de cómo medir la eficiencia de la comunicación, es posible encontrar una amplia gama de pruebas y métodos, desde la utilización de instrumentos técnicos, diferentes softwares y análisis de datos en los casos más objetivos, hasta el muestreo de pruebas verbales en sujetos que permiten de forma subjetiva llegar a un nivel de claridad o calidad de comunicación, el cual para ambos casos se expresa en un indicador entre 0 y 1.

3.7. Índice de Inteligibilidad (SII), Índice de transmisión de voz (STI) y su medición.

Los métodos objetivos son utilizados principalmente para indicar el nivel de inteligibilidad que logra un espacio físico particular, donde se transmitirá un mensaje y este debe de ser claramente audible. El más utilizado es el *Speech Intelligibility Index* (SII), el cual fue creado por la Asociación Americana de Acústica (ASA) basado en la norma ANSI S3.5 1997 (*Methods of calculation of the Speech Intelligibility Index*). En mayor uso del índice es establecer las condiciones de un espacio acústico como un anfiteatro, una sala de conferencia, un salón de eventos u otro espacio arquitectónico puede ser creado o modificado, para que las ondas de la voz se proyecten de manera eficiente, evitando fenómenos de reverberación o saturación, mejorando el entendimiento del mensaje en los receptores. También es relevante en mensajes de evaluación por voz, anuncios en lugares públicos como aeropuertos y terminales.

El índice de transmisión del habla o *Speech Transmission Index* (STI) por otro lado, es el indicador objetivo ideal para evaluar la eficiencia de la comunicación, utilizado tanto en sistemas electrónicos de sonido como otros sistemas de transmisión. La medición de la inteligibilidad la lleva a cabo un dispositivo de manera automática. El STI, al ser un índice, está comprendido entre 0 y 1. Siendo un puntaje de STI=0 correspondiente a la completa pérdida de la señal, mientras que el puntaje más alto, STI=1 corresponde a una señal completamente inalterada e inteligible. (Landini, 2020)

La versión o método que más se adecua para este caso de investigación es el *Speech Transmission Index* (STI), ya que está enfocado en la transmisión de la voz mediante un equipo electrónico o canal, midiendo variables extras al ruido ambiente, como transmisión de la voz con elementos electrónicos e intercomunicadores.

Según la norma internacional IEC 60268-16 "Sound system equipment – Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index", podemos considerar como una mejora tecnológica objetiva al aumentar el índice de transmisión de voz (STI). La Tabla 1: inteligibilidad del habla de acuerdo con el índice, demuestra que a pesar de que el puntaje es objetivo y segmenta grados de claridad en el mensaje de acuerdo al rango donde se encuentra el puntaje, es posible diferenciar incremento en porcentajes de inteligibilidad si es que el mensaje es codificado en números o sílabas, o si es conectado a palabras, y finalmente si es

que el contenido de la comunicación es contextualizado en una frase u oración. La mejora en la inteligibilidad de la comunicación entre los usuarios de sistemas de EPP mostraría un avance tecnológico tangible y demostrable, esperando alcanzar al menos un nivel ACEPTABLE de comunicación en los espacios de trabajo donde las condiciones ambientales obliguen a los trabajadores al uso continuo de la protección.

Tabla 1 : Inteligibilidad del habla de acuerdo al Índice de Transmisión de Voz

Puntaje STI	Inteligibilidad según IEC 60268-16	Inteligibilidad de sílabas en %	Inteligibilidad de palabras en %	Inteligibilidad de frases en %
0 - 0.3	MALA	0 - 34	0 - 67	0 - 89
0.31 - 0.45	POBRE	35 - 48	68 - 78	90 - 92
0.46 - 0.6	ACEPTABLE	49 - 67	79 - 87	93 - 95
0.61 - 0.75	BUENA	68 - 90	88 - 94	96 - 97
0.76 - 1	EXCELENTE	91 - 96	95 - 96	98 - 100

Para realizar una medición precisa del índice, es fundamental adaptar los dispositivos y crear soportes que permitan la emisión y recepción de señales desde el interior de un protector respiratorio y un protector auditivo. El proyecto se orienta hacia una investigación exploratoria y carente de la experticia necesaria para una medición profesional certificable. Para poder asimilar los conceptos y términos utilizados en la normativa, además de los conocimientos físicos, eléctricos, electrónicos y matemáticos que se requieren, se han incurrido a diferentes técnicas, de las cuales se destacan *Speech Transmission & Intelligibility Index Metrics*, *Voice Quality Online Seminar* (Migeot, 2019) y *Webinar: Speech Transmission Index Part 1 – From Modulation Transfer Function to STI* junto a su segunda versión *Webinar: Speech Transmission Index Part 2 - Prediction and Measurement* (Bose Professional, 2024)

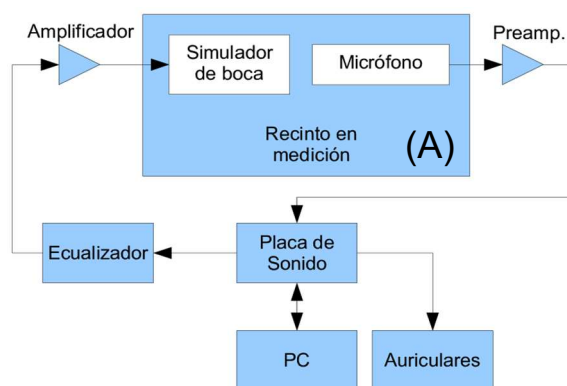
4. Metodología

4.1. Antecedentes para la definición de objetivos

Como antecedente preliminar para establecer los objetivos, se ha establecido como resultado esperado la capacidad de comparar el rendimiento de diferentes sistemas de protección en la comunicación, utilizando el estándar de medición del Índice de Transmisión de Voz (STI).

El estándar del Índice de Transmisión de Voz se utiliza tanto para evaluar la inteligibilidad en aulas como en sistemas de transmisión para vehículos. La Figura 1 representa el diseño conceptual de los componentes utilizados para medir el STI en aulas universitarias (Longoni, H. 2016). En este contexto, el recinto de medición (A) es el espacio donde ocurren los principales fenómenos que afectan la inteligibilidad, como la reverberación y el ruido ambiente o la relación señal-ruido (SNR), lo cual no es relevante para el caso que se pretende evaluar.

Figura 1: Diagrama para la medición de STI



Fuente: Centro de Investigación y Transferencia en Acústica (CINTRA)

Además, se ha identificado la necesidad de adaptar los instrumentos de medición para poder simular entornos de alta exposición en decibelios sin que la vibración propia de una fuente con un SNR superior a los 100 dB interfiera en la recolección de datos. La Figura 2 muestra instrumentos de referencia que no están disponibles en Chile en la actualidad, lo cual representa un obstáculo para su utilización en el estudio.

Figura 2: XL2 Analyzer y Simulador de cabeza 4128-C



Fuente: Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement y NTI-Audio.com

4.1.1. Objetivo general

- Generar un procedimiento y los instrumentos necesarios para realizar un análisis comparativo de inteligibilidad de la comunicación utilizando el método de Índice de Transmisión de Voz (STI) entre usuarios de EPP. El procedimiento requiere medir el índice en diferentes condiciones acústicas simuladas, recreando los puestos de trabajo donde las condiciones ambientales obligan a los trabajadores a usar elementos de protección respiratoria y auditiva de forma prolongada o permanente, con el fin de afirmar o descartar un cambio significativo en la calidad de comunicación con diferentes tecnologías.

Este análisis se aplicará posteriormente en elementos de protección convencionales, elementos de protección con sistemas de válvula fónica y prototipos de elementos de protección con componentes electrónicos integrados.

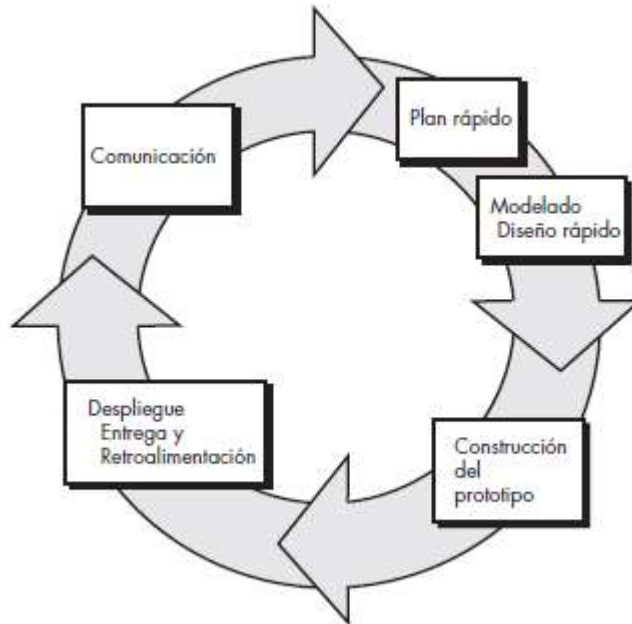
4.1.2. Objetivos específicos

- Diseñar un dispositivo conformado por una cabeza y torso que permita simular la voz de un individuo usando los sistemas de protección determinados y que logre escuchar la señal simulada, permitiendo la medición del STI entre emisor y receptor en diferentes escenarios, logrando un calce idéntico al real en una persona, tanto en el protector auditivo como en el respiratorio.
- Diseñar una sala de sonido o estudio de grabación para reproducir los niveles de ruido necesarios para reproducir la señal de ruido determinada o *Signal to Noise Ratio* (SNR) en la frecuencia indicada simulando el entorno real alrededor del dispositivo de cabeza emisor/receptor para ejecutar la prueba.
- Definir el método comparativo necesario para simular los potenciales escenarios donde se requiere de comunicación portando EPP, para posteriormente obtener y registrar los índices de cada equipo en cada situación definida.

4.2. Metodología de prototipado

La metodología utilizada para diseñar y definir el procedimiento planteado como objetivo fue el Modelo de Prototipado. Originado inicialmente para el desarrollo de software, este modelo sigue las siguientes etapas de acuerdo a la imagen de la figura 3:

Figura 3: Diagrama de Metodología de prototipado, diseño centrado en el usuario.



Fuente: Modelo en prototipos (Blog de comparasoftware).

1. Comunicación: En esta fase, los analistas de negocios y otros responsables recopilan requisitos y discuten las necesidades del producto con las partes interesadas o clientes.
2. Plan rápido: Una vez establecidos los requisitos básicos, se realiza un plan inicial rápido para el prototipo.
3. Modelado, Diseño rápido: Se diseña una parte de la interfaz de usuario en esta etapa, como parte del diseño inicial del prototipo.
4. Construcción del prototipo: Aquí se codifica y desarrolla el prototipo diseñado.
5. Despliegue, Entrega y Retroalimentación: El prototipo inicial se implementa y se pone a disposición de los clientes para su uso. Estos revisan y evalúan el prototipo, proporcionando retroalimentación al equipo de requisitos y desarrollo.

La idea detrás de desarrollar prototipos es identificar los requisitos que el sistema va a necesitar, creando rápidamente un programa funcional que demuestra lo que realmente se necesita, los requerimientos.

4.2.1 Prototipo incremental

En la metodología de creación de prototipos incrementales, el desarrollo del producto final se fragmenta en varios prototipos más pequeños, cada uno de los cuales se desarrolla de manera independiente y progresiva. La implementación de esta metodología en el contexto de los objetivos específicos ha facilitado la evolución del procedimiento que se detalla en los resultados del proyecto.

5. Resultados

5.1. Prototipo para el simulador de cabeza adecuado para exposición a altos decibeles.

El punto de partida como la etapa de comunicación, el dispositivo a diseñar se presenta a un equipo de trabajo compuesto por estudiantes de diseño industrial, para analizar una cabeza de polipropileno. El proceso de prototipar sobre esta base requirió de un análisis que identificó dos factores deficientes: la rigidez del plástico y la ausencia de integración de elementos para el envío y recepción de señales de voz. El superar estas deficiencias queda arraigado como los requerimientos al diseño de este dispositivo.

Para modificar la rigidez del modelo, en la etapa de plan rápido, se proyectaron tres prototipos a escala de cabeza pequeñas (figuras 4, 5 y 6), con el fin de escoger la mejor opción que permita simular los cuerpos blandos propios de la anatomía de la cabeza y rostro

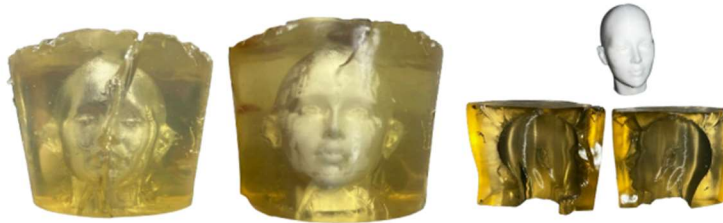
Figura 4: Prueba con piel sintética para tatuaje.



En el modelo de la figura 4, donde se usó piel sintética para cubrir una estructura impresa en ácido poliláctico o PLA, se pudo observar que, si bien las láminas del material sintético se adhirieron al molde de la cabeza, la consistencia resultante no representaba lo requerido para el prototipo, por lo que se descartó rápidamente.

A continuación, se experimentó con gel balístico (figura 5), generando un prototipo colado a un molde contenedor que dio como resultado una cobertura gelatinosa similar a los cuerpos de grasa que se requieren, sin embargo, la consistencia del gel requería de un delicado cuidado frente a contacto o presión, lo cual pudo dificultar la correcta implementación de los elementos de protección a medir.

Figura 5: Prueba con gel balístico.



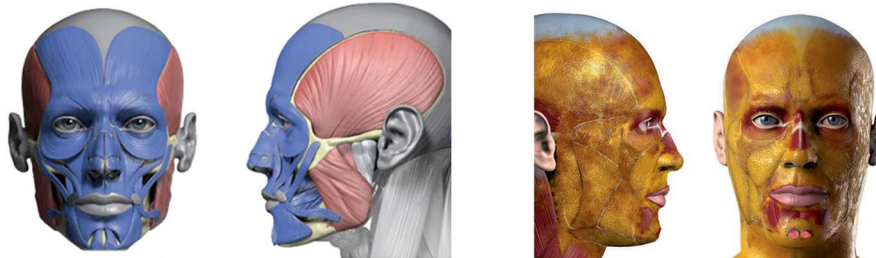
Finalmente, es posible ver en la figura 6 la prueba con una mezcla de silicona acética y almidón de maíz, lo que comúnmente se utiliza para realizar moldes pequeños de alta fidelidad. Esta prueba generó un modelo que se adecuó de mejor manera a lo que se buscaba para el requerimiento. La aplicación de este material se realiza manualmente, mezclando ambos ingredientes y aplicando de forma continua, evitando que se endurezca por el secado, y aplicando presión hacia la estructura impresa para que la masa tome la forma del modelo.

Figura 6: Prueba con silicona y almidón de maíz.



La ejecución de pruebas de prototipo rápido a escala permitió una retroalimentación de corto plazo para elaborar un siguiente prototipo, esta vez a escala real, con la materialidad definida para acercarse al requerimiento establecido. Para una aproximación anatómica fidedigna, se utilizó como guía las ilustraciones del libro *Anatomy of facial expression* (Zarins, U. 2014), visibles en la imagen 7, donde se orientó la referencia en los modelos 3D de la anatomía de la musculatura y las grasas del rostro de un adulto de edad media, entre 35 y 50 años, masculino.

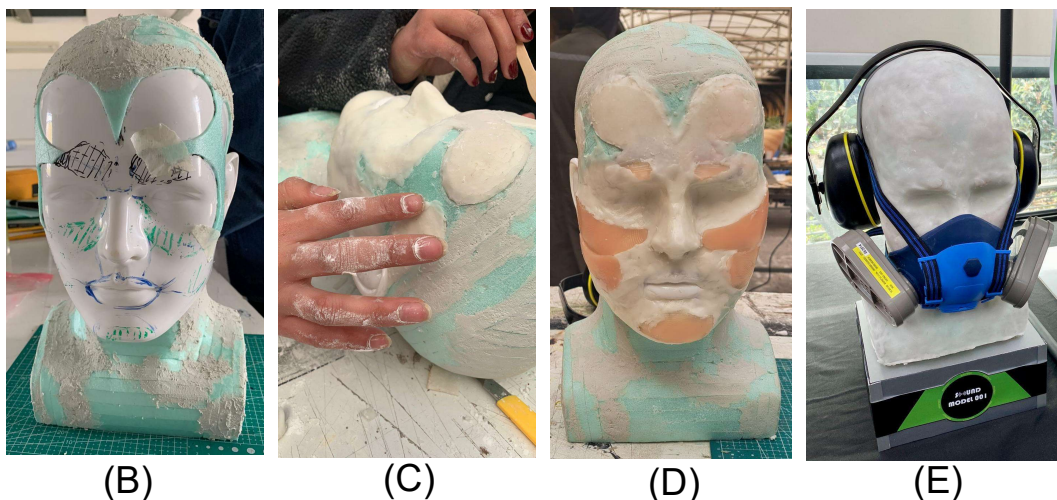
Figura 7: Referencias para prototipo. Representaciones 3D de anatomía de musculatura y grasa de cabeza y rostro.



Fuente: Anatomy of face expression. Anatomy for sculptures

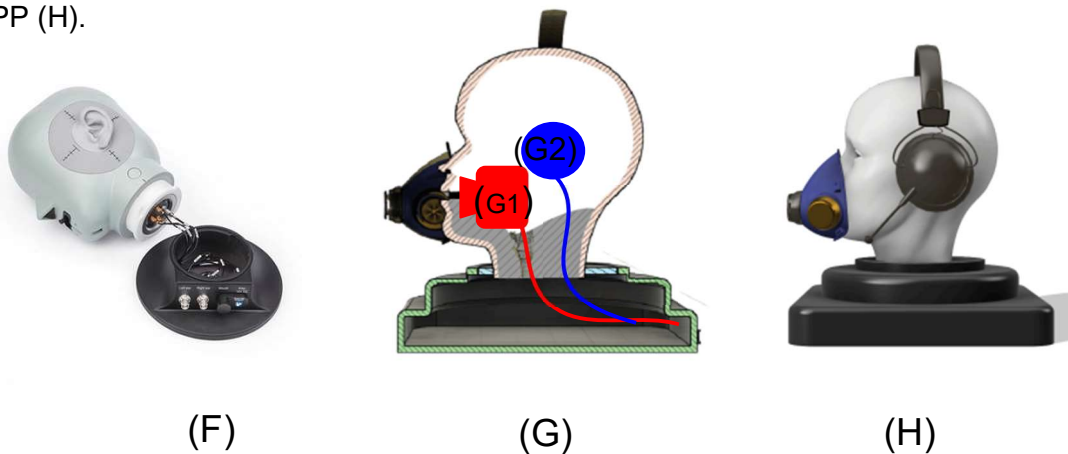
Durante la fase de prototipado del dispositivo (Figura 8), se implementaron distintas capas de materiales con el propósito de replicar las variaciones entre la musculatura y la grasa subcutánea. Para simular la musculatura, se aplicó una capa de espuma de poliuretano con un grosor de 2 milímetros (B), mientras que para representar la grasa se utilizaron capas de silicona mezclada con almidón de diferentes espesores (C). Para la región del músculo cigomático y el mentón se empleó silicona adhesiva de espesores 3 y 4 milímetros (D). Este enfoque permitió que el prototipo resultante en esta iteración lograra simular de manera efectiva las propiedades de flexibilidad y elasticidad características de un rostro humano real.

Figura 8: Desarrollo evolutivo (de izquierda a derecha) de la incorporación de láminas al prototipo.



Con respecto a la ausencia de los elementos de reproducción de la señal de voz, se realizaron perforaciones, visibles en la figura 9, acordes a los instrumentos de audiometría de referencia (F), simulando la voz y la audición en boca y oídos respectivamente. Inicialmente los instrumentos de medición se ubicaron dentro del prototipo, tanto el reproductor de la señal o parlante (G1) como el captador de la señal o micrófono (G2). Debido a que el proyecto recibirá soporte técnico del área de ingeniería electroacústica, las dimensiones finales aún no han sido definidas, por lo que el prototipo mantiene el espacio disponible para adaptaciones.

Figura 9: Componentes electrónicos del modelo de referencia (F). Diagrama vista en corte de elementos electrónicos en el prototipo (G). Vista general del Prototipo con los EPP (H).



Se determinó que el conector XLR sería utilizado para las conexiones. Este conector es reconocido por su baja impedancia y facilidad de conexión. En la industria del audio, también se le conoce como "cable equilibrado" debido a que tanto el polo positivo como el negativo conducen la tensión de entrada y salida, a diferencia de los cables de alta impedancia donde solo un conductor interno lleva la carga equilibrada. Estas cualidades de facilidad de uso y seguridad fueron los factores destacados que influyeron en la elección final del conector XLR.

Figura 10: Conector XLR y tablero básico de audio planteado como solución inicial. Explosión del prototipo y sus componentes externos.



5.2. Prototipo para estudio de reproducción de ambiente a altos decibeles.

El método de prototipado incremental condujo al diseño del espacio destinado a la sala de sonido o estudio de grabación, el cual incorporó los siguientes requisitos: Se requería que el espacio fuera capaz de contener el ruido simulado de ambientes industriales, por lo tanto, debía construirse con materiales aislantes adecuados. Además, el diseño contemplaba la instalación de al menos dos simuladores de cabezas dentro del espacio, así como un área de trabajo destinada a sala de control, equipada con el equipo necesario para llevar a cabo las mediciones correspondientes.

Como plan inicial, el espacio se proyectó como una sala de dimensiones acotadas (figura 11), inspirado en cabinas audiomotrices o insonorizadas, las cuales oscilan entre 3 a 5 metros cuadrados.

Figura 11: Primeros bocetos de diseños de la sala de audiometría, considerando solo un espacio común.



En la iteración siguiente, el diseño evolucionó hacia un compartimento dual que incluía una cabina de control separada del área de pruebas principal. Como puede apreciarse en la figura 12 y 13, la orientación proporcionada por docentes especializados en ingeniería acústica y sonido permitió una mejora significativa en la usabilidad y funcionalidad del diseño. El espacio se distribuye como un corredor rectangular con dimensiones de 10 metros cuadrados, equipado adecuadamente para la reproducción de señales de ruido o relación señal-ruido (SNR) superiores a los 100 dB.

Figura 12: Vista en planta del diseño de la sala de audiometría, considerando espacios aislados para la cabina de control.

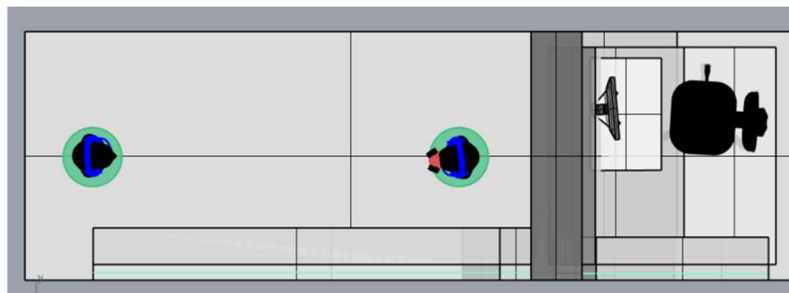
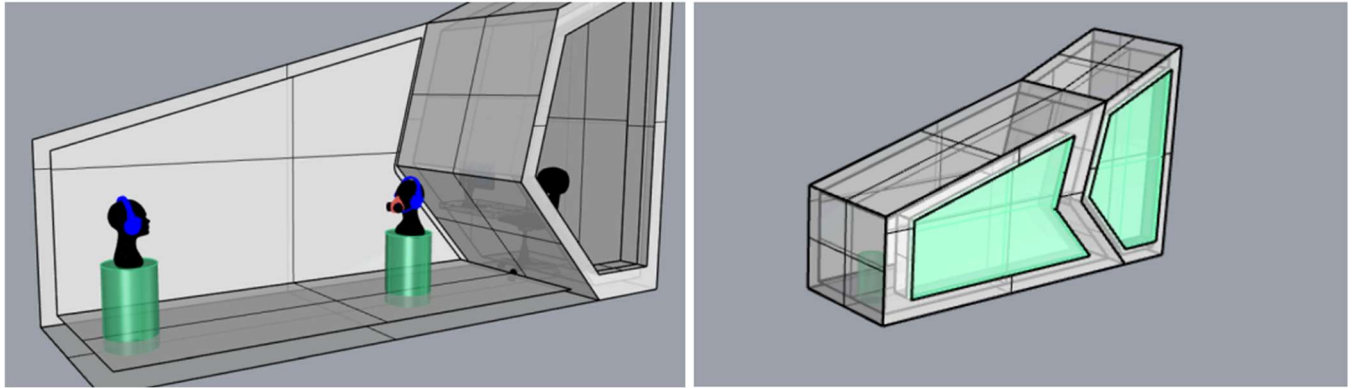


Figura 13: Vista en corte y lateral del diseño de la sala de audiometría.



5.3. Método para medición de STI en diferentes escenarios simulados.

Inicialmente, se planteó el método de medición basado en el modelo estándar de *Intelligibility Index* (STI), como se ilustra en la figura 1. Sin embargo, en el caso específico de la captación de voz dentro del protector respiratorio, se observó que el efecto de reverberación se trasladaba hacia el interior del mismo, lo cual resultaba en una saturación del micrófono. Además, el efecto del ruido ambiental se veía mitigado debido a que el protector auditivo actuaba como una concha acústica protectora para el micrófono.

Aunque las primeras pruebas en los sistemas de intercomunicación no fueron satisfactorias en términos de inteligibilidad, se emprendió una búsqueda de componentes electrónicos que pudieran equilibrar la baja sensibilidad para atenuar la reverberación y anular completamente el ruido de fondo. Estas mejoras resultaron en pruebas posteriores más exitosas.

Como método optimizado para la medición del *Speech Transmission Index* (STI) en simulaciones de ambientes industriales, se diseñó una tabla compuesta por 36 casillas para registrar los resultados bajo 5 niveles de contaminación acústica (numerados del 1 al 5), evaluando a usuarios en 4 diferentes condiciones (A, B, C y D). Esta tabla permite comparar tres pares de usuarios utilizando diversos sistemas de Equipos de Protección Personal (EPP), donde:

- (STI) EPP_{conv} corresponde al puntaje de STI del sistema de EPP convencional,
- (STI) $EPP_{vál\ fón}$ corresponde al puntaje STI del sistema con válvula fónica y
- (STI) $EPP_{intercom}$ corresponde al puntaje STI del sistema con intercomunicación.

Las Tablas 2 y 3 proporcionan una visualización detallada del cuadro comparativo mencionado.

Tabla 2: Medición de inteligibilidad entre usuarios de EPP en diferentes escenarios de terreno simulados

Sistema EPP		STI%			
A	EPP_{conv}	Emisor A1 - Receptor A1	Emisor A2 - Receptor A2	Emisor A3 - Receptor A3	Emisor A4 - Receptor A4
B	$EPP_{vál\ fón}$	Emisor B1 - Receptor B1	Emisor B2 - Receptor B2	Emisor B3 - Receptor B3	Emisor B4 - Receptor B4
C	$EPP_{intercom}$	Emisor C1 - Receptor C1	Emisor C2 - Receptor C2	Emisor C3 - Receptor C3	Emisor C4 - Receptor C4
Simulación de SNR en terreno		(1) 60 dB	(2) 80 dB	(3) 100 dB	(4) 120 dB

Tabla 3: Medición de inteligibilidad entre usuarios de EPP en terreno con bases de control sin uso de EPP en escenario promedio

D	Receptor <i>Sin EPP</i> 	Emisor A1 - Receptor D5	Emisor A2 - Receptor D5	Emisor A3 - Receptor D5	Emisor A4 - Receptor D5
		Emisor B1 - Receptor D5	Emisor B2 - Receptor D5	Emisor B3 - Receptor D5	Emisor B4 - Receptor D5
		Emisor C1 - Receptor D5	Emisor C2 - Receptor D5	Emisor C3 - Receptor D5	Emisor C4 - Receptor D5
	Emisor <i>Sin EPP</i> 	Emisor D5 - Receptor A1	Emisor D5 - Receptor A2	Emisor D5 - Receptor A3	Emisor D5 - Receptor A4
		Emisor D5 - Receptor B1	Emisor D5 - Receptor B2	Emisor D5 - Receptor B3	Emisor D5 - Receptor B4
SNR Consola		Emisor D5 - Receptor C1	Emisor D5 - Receptor C2	Emisor D5 - Receptor C3	Emisor D5 - Receptor C4
		(5) 50 dB			

6. Discusión

6.1 Metodología de prototipado incremental y alcanzar objetivos métricos.

El uso de la metodología de prototipado incremental en proyectos de desarrollo presenta ciertas particularidades que pueden afectar la visualización de datos estandarizados. Esta metodología se caracteriza por su enfoque iterativo y cíclico, donde el producto se desarrolla y mejora gradualmente a través de versiones sucesivas o iteraciones.

Para el desarrollo de los objetivos específicos planteados, surgieron dificultades de ejecución principalmente debido a dos razones identificadas:

1. La naturaleza iterativa y evolutiva del prototipo: En el prototipado incremental, el producto se construye en etapas sucesivas, con cada iteración añadiendo funcionalidades adicionales o mejorando las existentes. Esto implica que los datos obtenidos de cada fase pueden variar significativamente a medida que el producto evoluciona (Boehm, B. W.1988). Por lo tanto, puede ser complicado comparar métricas o resultados entre diferentes versiones del prototipo, ya que cada una puede estar en un estado diferente de desarrollo y completitud. A la vez, el alcance inicialmente definido comienza a tornarse difuso con respecto al fin inicial. En el contexto específico del desarrollo del simulador de cabeza, la selección y evaluación de los materiales empleados durante la fase de prototipado rápido demandó un considerable tiempo, lo cual resultó en una menor atención dedicada a los componentes electrónicos internos.
2. Retroalimentación constante: La metodología de prototipado incremental pone un énfasis considerable en la retroalimentación continua de los usuarios o clientes. Esto significa que las necesidades y requisitos del producto pueden cambiar a lo largo del tiempo a medida que se recibe y se incorpora la retroalimentación. Como resultado, las métricas y datos recopilados pueden reflejar ajustes y cambios frecuentes, lo que dificulta la estandarización de los datos en comparación con un método más lineal y predecible.

De acuerdo esta experiencia en prototipado iterativo, se recomienda para abordar estas dificultades y facilitar la evaluación de resultados en un contexto de prototipado incremental, es recomendable:

- Definir métricas flexibles: Utilizar métricas que puedan adaptarse a los cambios y mejoras continuas del producto. Esto implica no solo medir el cumplimiento de objetivos estáticos, sino también la capacidad de adaptación y respuesta del producto a las necesidades emergentes de los usuarios.
- Documentar iteraciones y versiones: Mantener un registro detallado de cada iteración del prototipo y las versiones correspondientes. Esto permite trazar la evolución del producto y entender cómo los cambios en el diseño afectan los resultados obtenidos.

En resumen, aunque el prototipado incremental ofrece ventajas significativas en términos de flexibilidad y capacidad de respuesta, también presenta desafíos específicos para la estandarización de datos debido a su naturaleza evolutiva y la constante retroalimentación con los usuarios. Sin embargo, estos desafíos pueden mitigarse con una planificación cuidadosa y una gestión efectiva de la metodología implementada.

6.2 Resultados esperados en la aplicación del procedimiento.

Como resultado de este diseño, se espera que en la Tabla 2 se obtenga un aumento progresivo en el puntaje de inteligibilidad de A a C, con una tendencia a mantener un índice de inteligibilidad ACEPTABLE en todos los ambientes para el caso de los pares C ($EPP_{intercom}$).

Destacan en amarillo los potenciales resultados que se estima serán equivalentes, es decir, comunicarse con EPP convencionales a 60 dB de ruido, equivale a comunicarse con EPP equipados de válvula fónica (mecánica o eléctrica) a 80 dB, que a su vez equivale a comunicarse a 120 dB utilizando un sistema de comunicación integrado a los EPP o intercomunicador.

Tabla 2: Medición de inteligibilidad entre usuarios de EPP en diferentes escenarios de terreno simulados

Sistema EPP		STI%			
A	EPP <i>conv</i>	Emisor A1 - Receptor A1	Emisor A2 - Receptor A2	Emisor A3 - Receptor A3	Emisor A4 - Receptor A4
B	EPP <i>vál fón</i>	Emisor B1 - Receptor B1	Emisor B2 - Receptor B2	Emisor B3 - Receptor B3	Emisor B4 - Receptor B4
C	EPP <i>intercom</i>	Emisor C1 - Receptor C1	Emisor C2 - Receptor C2	Emisor C3 - Receptor C3	Emisor C4 - Receptor C4
Simulación de SNR en terreno		1. 60 dB	2. 80 dB	3. 100 dB	4. 120 dB

Tabla 3: Medición de inteligibilidad entre usuarios de EPP en terreno con bases de control sin uso de EPP en escenario promedio

D	Receptor Sin EPP	Emisor A1 - Receptor D5	Emisor A2 - Receptor D5	Emisor A3 - Receptor D5	Emisor A4 - Receptor D5
		Emisor B1 - Receptor D5	Emisor B2 - Receptor D5	Emisor B3 - Receptor D5	Emisor B4 - Receptor D5
		Emisor C1 - Receptor D5	Emisor C2 - Receptor D5	Emisor C3 - Receptor D5	Emisor C4 - Receptor D5
	Emisor Sin EPP	Emisor D5 - Receptor A1	Emisor D5 - Receptor A2	Emisor D5 - Receptor A3	Emisor D5 - Receptor A4
		Emisor D5 - Receptor B1	Emisor D5 - Receptor B2	Emisor D5 - Receptor B3	Emisor D5 - Receptor B4
		Emisor D5 - Receptor C1	Emisor D5 - Receptor C2	Emisor D5 - Receptor C3	Emisor D5 - Receptor C4
SNR Consola		1. 50 dB			

Para el caso de esta prueba, se espera que en la Tabla 3 se obtenga nuevamente aumento progresivo en el puntaje de inteligibilidad de A a C, pero esta vez en comunicación con un receptor y un emisor sin el uso de EPP, en un ambiente de ruido controlado (50 dB)

Destacan en rojo los potenciales resultados que se estima serán equivalentes, es decir, comunicarse con EPP convencionales a 60 dB de ruido hacia una simulación de consola u operador de radio fuera del ambiente contaminado, equivale a comunicarse con EPP equipados de válvula fónica (mecánica o eléctrica) a 80 dB con el mismo operador, que, a su vez, equivale a comunicarse a 120 dB utilizando un sistema de comunicación integrado a los EPP o intercomunicador.

Estos posibles resultados proporcionaron un método objetivo para evaluar la efectividad de una mejora tecnológica específica. Esto es especialmente relevante para respaldar y justificar el desarrollo de herramientas tecnológicas diseñadas para medir mejoras en entornos laborales, particularmente en lugares con alto riesgo de enfermedades ocupacionales.

6.3 Estudios posteriores, prueba subjetiva con usuarios reales en terreno.

La presente investigación se centra en la medición del índice de transmisión de voz STI, pero el proyecto subyacente abarca el diseño, fabricación e implementación de un sistema de comunicación intercomunicador. A lo largo de mi experiencia en este proyecto, he tenido la oportunidad de observar directamente los desafíos de comunicación y la falta de medidas de protección en las principales empresas mineras del país. Estas observaciones llevaron a la identificación, en colaboración con el equipo de desarrollo, de la necesidad de un indicador que permitiera presentar datos técnicos comparativos y así facilitar la mejora continua en los sistemas de comunicación.

Desde una perspectiva personal, he tomado decisiones fundamentadas a lo largo del proyecto, conscientes de que el resultado final no siempre ha coincidido con las expectativas iniciales. Esta discrepancia ha generado una expectativa de incertidumbre respecto al futuro de la tecnología desarrollada. El proceso continuo de reflexión y evaluación no solo refuerza el desarrollo técnico del proyecto, sino que también subraya la importancia de adaptarse y responder de manera eficaz a los desafíos emergentes en la investigación y desarrollo de tecnologías innovadoras.

Para asegurar la continuidad y éxito futuro del proyecto, y para lograr la implementación efectiva de la tecnología de comunicación descrita, es imperativo establecer un plan de pruebas subjetivas que permita validar la tecnología con usuarios reales en condiciones de terreno. La experimentación de prototipos en condiciones reales incrementa el factor de riesgo si la incertidumbre sobre el funcionamiento del prototipo no ha sido eliminada o al menos reducida. Las situaciones reales exponen a riesgos tangibles; sin embargo, con las medidas de mitigación adecuadas, las pruebas en terreno representan el siguiente paso necesario tras la realización de pruebas de laboratorio. Este enfoque no solo valida la funcionalidad del sistema en condiciones reales, sino que también contribuye a la mejora continua y a la adaptación del sistema a las necesidades prácticas del entorno.

7. Conclusión

Las conclusiones de un proyecto basado en metodología de prototipado incremental no solo se centran en la evaluación de los resultados y posibles mejoras, sino que también destacan el incremento de conocimiento en áreas que trascienden el ámbito profesional, incluyendo la especialidad de la ergonomía y los factores humanos. En este caso particular, se añade la comprensión avanzada en disciplinas como ingeniería, física y fenómenos de comunicación en ondas de transmisión, así como en electrónica y sus aplicaciones. Estos aspectos confirman que la base de la innovación en proyectos tecnológicos demanda una colaboración interdisciplinaria compleja, liderada por profesionales que no solo valoran la importancia de cada disciplina involucrada, sino que también colocan al usuario en el centro del proceso.

El objetivo general del proyecto fue desarrollar un procedimiento junto con sus instrumentos de medición para evaluar el índice de transmisión de voz y su inteligibilidad. Esta aproximación no solo cumple con los requisitos técnicos del proyecto, sino que también enriquece el conocimiento en diversas áreas científicas y técnicas. Este enfoque interdisciplinario subraya la necesidad de una integración profunda de conocimientos para la innovación tecnológica efectiva, destacando la complejidad inherente al liderazgo en proyectos de esta índole.

El proceso de diseño de este procedimiento ha permitido identificar varios puntos clave:

1. El dispositivo de simulación de cabeza desarrollado muestra un potencial significativo, aunque se reconoce la necesidad imperiosa de una segunda fase de implementación electrónica robusta. Esta fase requerirá la colaboración de especialistas en la medición de frecuencias en octavas, así como el uso adecuado de hardware y software específicos para estas pruebas.

Los requisitos identificados y cumplidos marcan el cierre del primer prototipo y el inicio de un siguiente ciclo con desafíos más complejos. El enfoque metodológico iterativo permitirá realizar mejoras continuas basadas en las deficiencias detectadas en versiones anteriores. Es plausible que, tras varias iteraciones, el dispositivo resultante pueda ser comparado favorablemente con los estándares existentes. No obstante, es crucial evaluar cuidadosamente las alternativas disponibles para la adquisición de equipos: diseñarlos y fabricarlos internamente o considerar la externalización del servicio a proveedores internacionales.

2. El diseño del espacio destinado a las simulaciones de ambiente industrial plantea inicialmente requerimientos que podrían considerarse básicos. Sin embargo, la investigación empírica realizada permitió identificar una serie de implicaciones prácticas fundamentales, como la materialidad, portabilidad y seguridad de los equipos tecnológicos, aspectos que ningún profesional especializado en audición puede pasar por alto.

La fabricación a medida solo se justifica en casos excepcionales, como la necesidad de adaptar el espacio a requisitos particulares de un laboratorio u otro entorno específico, y cuando se anticipa un uso prolongado que justifique la inversión.

3. Con respecto al método comparativo presentado en las tablas 2 y 3, se considera que la propuesta logra visualizar de manera detallada en 36 cuadros cómo podría mejorar tanto la seguridad como la eficiencia en la comunicación en un número indefinido de puestos de trabajo que operan en ambientes donde el uso de Equipos de Protección Personal (EPP) es obligatorio.

La materialización de este método comparativo no solo permite cuantificar la calidad de la comunicación actual, sino también evaluar y medir futuras tecnologías que puedan surgir.

En resumen, la continuación de estos prototipos posibilitará la realización de análisis comparativos de potenciales tecnologías de comunicación en entornos laborales expuestos.

Es crucial mantener un enfoque en la mejora continua para alcanzar estándares que abordan adecuadamente la gravedad del problema que se intenta resolver: la prevención de enfermedades ocupacionales y el aumento de la productividad mediante la implementación de mejoras tecnológicas disponibles.

8. Bibliografía

Atenas, E. (2012). *Diseño e implementación de una unidad de procesamiento de sonido para optimizar la comunicación de voz en máscaras de protección respiratoria*.
<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/111404>

Boehm, B. W. (1988). *A Spiral Model of Software Development and Enhancement*. ACM SIGSOFT Software Engineering Notes, 11(4), 14-24.
<https://doi.org/10.1145/74234.74235>

Castelluci, I., Viviani, C., & Martínez, M. (2017). *Tablas antropométricas de la población trabajadora chilena*. <https://www.mutual.cl/>.
[https://www.mutual.cl/portal/wcm/connect/98d0e1fb-621b-4a7e-baf1-57ad603c6f16/tablas de antropometria de la poblacion trabajadora chilena.pdf?MOD=AJPERES](https://www.mutual.cl/portal/wcm/connect/98d0e1fb-621b-4a7e-baf1-57ad603c6f16/tablas_de_antropometria_de_la_poblacion_trabajadora_chilena.pdf?MOD=AJPERES)

Contreras, M., Morales, J., Vera, E., Cerda, H., & Abarca, L. (2012). Mobile Sensor Monitoring System Using Modular Architecture Technology. *9th Asia-Pacific Symposium on Information and Telecommunication Technologies (APSITT)*, 9th(9), 1-4. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6379704>

Johnson, A. T. (2016). Respirator masks protect health but impact performance: a review. *Journal of Biological Engineering*, 10(4), 1-40.
<https://jbioleng.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13036-016-0025-4#citeas>

Landini, L. (2020, January 22). *Inteligibilidad: ¿Cómo se calcula el STI?* | EQ Academy. EQ Academy. Retrieved May 14, 2024, from <https://academy.equaphon.net/inteligibilidad-como-se-calcula-el-sti/>

Lean, D. (2013). Intercomunicador M-900 para la comunicación en mina. Intercomunicador M-900 para la comunicación en mina. *Seguridad Minera*, 1(Nº105). <https://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/intercomunicador-para-la-comunicacion-en-mina/>

Longoni, H. Ferreyra, S. López, F. Cravero, G. Parada, M. Díaz, M. Moreno, A. Siemes, J. Gelerstein, S. Gilberto, L. Ramos, O y Tommasini, F. (2016). Análisis espacial del Índice de Transmisión del Habla en aulas universitarias. *Mecánica Computacional Vol XXXIV*, págs. 387-391 (artículo completo). https://www.researchgate.net/publication/310806509_ANALISIS_ESPACIAL_DEL_INDICE_DE_TRANSMISION_DEL_HABLA_EN_AULAS_UNIVERSITARIAS#pf4

Migeot, J. (2019, October 31). *Speech Transmission & Intelligibility Index Metrics* | Voice Quality Online Seminar. YouTube. Retrieved May 16, 2024, from <https://www.youtube.com/watch?v=Y7ltieJgXZY>

Nariño Lescay, R., Alonso Becerra, A., & Hernández González, A. (2017). ANTROPOMETRÍA. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS TECNOLOGÍAS PARA LA CAPTACIÓN DE LAS DIMENSIONES ANTROPOMÉTRICAS. *Revista EIA, dic*

2016(26). http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-1237201600020000

Rafael Pérez, Eva & Morales-Hernandez, Maricela & Reyes-Morales, Idalia & Navarrete-Infante, Néstor. (2019). Sistema Experto para la Rotación de Cultivos en un Invernadero. *Revista de Ingeniería Innovativa*. 1-11. 10.35429/JOIE.2019.9.3.1.11.

[Las Fases del Modelo Incremental | Pasos para hacerlo \(comparasoftware.com\)](#)

Ramírez - Acosta, K. (2017). Interfaz y experiencia de usuario: parámetros importantes para un diseño efectivo. *Revista Tecnología en Marcha*, 30(1), 1.

<http://dx.doi.org/10.18845/tm.v30i5.3223>

Rodriguez, A. A., Escanilla, D. E., Caroca, L. A., Marshall, P. A., Molenbroek, J. F.M., & Castelluci, H. I. (2020). Level of match between facial dimensions of Chilean workers and respirator fit test panels proposed by LANL and NIOSH. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 80(80), 103015. 10.1016/j.ergon.2020.103015

Sommerhoff, J., & Rosas, C. (2007). *Evaluación de la inteligibilidad del habla en español*. [https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0071-](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0071-17132007000100014&script=sci_arttext&tlng=pt)

[17132007000100014&script=sci_arttext&tlng=pt](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0071-17132007000100014&script=sci_arttext&tlng=pt).

Bose Professional. (May 16, 2024). *Webinar: Speech Transmission Index Part 1 – From Modulation Transfer Function to STI*. (2021). [Archivo de video]. Youtube.

<https://www.youtube.com/watch?v=ko0JdwV55RE&t=2197s>

Bose Professional. (May 16, 2024). *Webinar: Speech Transmission Index Part 2 –*

From Modulation Transfer Function to STI. (2021). [Archivo de video]. Youtube.

[Webinar: Speech Transmission Index Part 2 - Prediction and Measurement - YouTube](#)

Zarins, U. (2014). *Anatomy of facial expression.* Anatomy for Sculptors.

9. Anexos

9.1 Análisis antropométrico preliminar



Resumen

El siguiente informe técnico se enmarca en el contexto del proyecto Intercomunicador Inalámbrico MASPROT, codificado para usos de la Ley I+D de Corfo como proyecto PI-5100 denominado **Diseño y desarrollo de un equipo de protección y comunicación inalámbrica para la industria minera.**

El informe detalla un análisis preliminar del escáner específico utilizado, el **modelo HX EinScan de Shining 3D**, con el objetivo de experimentar, documentar y evaluar la posibilidad de utilizar esta tecnología de forma masiva en trabajadoras y trabajadores del rubro minero o contexto industrial.

La necesidad de realizar esta prueba responde al objetivo de realizar un estudio antropométrico de cabeza y rostro de usuarios de elementos de protección personal, con la finalidad de mejorar el ajuste y flexibilidad de dichos elementos para agregar la funcionalidad de comunicación sin afectar la protección respiratoria y auditiva.

Los datos recopilados digitalmente generan una fuente de datos fidedigna y extensible de la morfología estructural y dinámica de la población en estudio, facilitando no solo el desarrollo de este proyecto en particular sino también estableciendo las bases para nuevos estudios y diseños de otros proyectos.

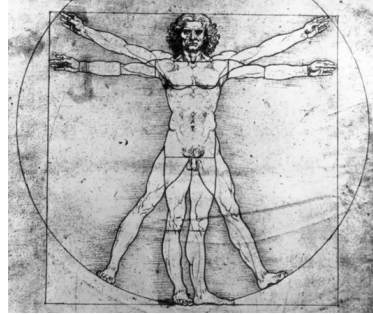
Como conclusión, el análisis refuerza que las ventajas comparativas entre tomar datos de manera digital versus la manera análoga o tradicional es considerablemente más precisa y rápida, y representan una oportunidad para la generación de nuevo conocimiento y desarrollo de nuevos productos, sin embargo, el levantamiento es solo el comienzo de un largo proceso de análisis, filtraje, comparación e interpretación que requiere de un equipo técnico de mayor envergadura.

Es por eso que, en base a este muestreo, se ha definido como estrategia empresarial generar vínculos con instituciones académicas, en particular con el Centro de Estudios del Trabajo y Factores Humanos, dependiente de la Universidad de Valparaíso para realizar el estudio y entregar los datos procesados y concluir en conjunto las directrices de diseño para el proyecto.

1. Introducción

Para describir el análisis preliminar del estudio que se realizó en la empresa Masprot, es necesario aclarar los fundamentos que sustentan un estudio antropométrico.

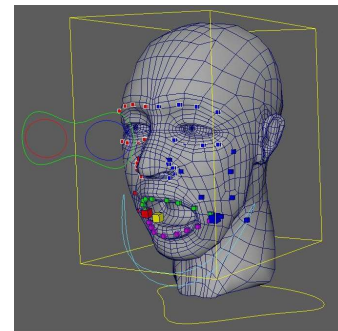
El término *Antropometría* se refiere al estudio de la medición del cuerpo humano en términos de las dimensiones del hueso, músculo, y adiposo (grasa) del tejido. La palabra antropometría se deriva de la palabra griega *antropo*, que significa ser humano y la palabra griega *metron*, que significa medida. (Nariño Lescay et al., n.d.)



La antropometría en ergonomía busca, además de entender la proporcionalidad del cuerpo humano, diseñar productos, vestuario, espacios y equipamientos de manera que acomode a la mayor cantidad de la población posible. Las personas que diseñan habitualmente recurren a esta información que está presente en forma de tablas antropométricas. Dichas tablas deben ser actualizadas al menos cada década, principalmente producto del crecimiento secular de las poblaciones. (Castellucci et al., 2017)

Las dimensiones del cuerpo son de dos tipos: estructurales y funcionales. Las estructurales son de la cabeza, troncos y extremidades en posición de pie o sentado. Mientras que las funcionales o dinámicas son aquellas en donde está involucrado el movimiento realizado por el cuerpo en una actividad específica. (Nariño Lescay et al., n.d.)

Para este proyecto en particular, es relevante considerar las medidas que puedan recolectarse de cada rostro y cabeza para luego establecer grupos o parámetros de segmentos dentro de un intervalo de medidas. Así, determinar una talla de respirador representativa de ese grupo y modelar mediante un software de diseño el movimiento y gesticulación del habla de ese grupo en particular, estableciendo así las medidas que deberá abarcar el producto.



Es importante recalcar que el principal desafío es el diseño de la base de un respirador, esta es la parte blanda que contacta con el rostro, que permita movimientos propios de la gesticulación del habla sin romper el sello facial que permite la protección respiratoria.

2. Metodología y procedimiento

2.1 Muestra

La planificación inicial contemplaba realizar el escaneo de 15 voluntarios de la planta de producción comenzando a las 15 horas del día miércoles 12 de abril 2023.

El proceso de escaneo con cada voluntario se planeó para realizarse en ciclos de 10 minutos aproximadamente, lo que demoró realmente entre 12 y 13 minutos, que comprenden desde el momento que la persona se sentó para que le sean colocados los marcadores reflectantes para ser ocupados por el escáner hasta que se terminaron de procesar los datos obtenidos desde la computadora.

2.2 Procedimiento

Antes de dar inicio a la realización de prueba del escáner en voluntarios de la empresa Masprot, se instaló el equipo necesario en la sala de reuniones acomodando el mobiliario para la facilitación de la toma de muestras y se realizaron escaneos de prueba para asegurar el correcto funcionamiento.

La persona encargada de realizar el escaneo inicial fue Esteban Ruiz-Tagle, quien vino como representante del FabLab UV, prestando servicios a Masprot por el uso y la implementación del equipo.



Figura 3 y 4: Fotos del proceso de prueba, calibración y escáner de primeros voluntarios.

Una vez listo el proceso de prueba se inició el llamado a voluntarios de la planta, donde procedieron a llegar de a dos personas para expeditar el proceso.

Previo a comenzar el escaneo, la especialista en ergonomía Sofía Valenzuela fue la encargada de identificar los puntos antropométricos relevantes y ubicar los stickers reflectantes para que el software los pueda identificar para un correcto procesamiento posterior.



Figura 5: La identificación de los puntos se realiza mediante el tacto de partes específicas del rostro palpando principalmente bordes o cantos de huesos, logrando tomar la medida necesaria lo más precisa posible.



Figura 6 y 7: La sesión de prueba se realizó en la sala de reuniones de la empresa, lo que corroboró que las condiciones del espacio no requieren más que la necesidades de luz apropiada, electricidad convencional (monofásica), una mesa y una silla.



Figura 8: Sujeto A, de sexo masculino, 35 años de edad. En pleno proceso de escaneo.



Figura 9: Sujeto B, sexo femenino, 54 años de edad. Segundos antes del escaneo

3. Resultados de la prueba

Como resultado de la sesión se escanearon 8 voluntarios, y se almacenaron los datos en una carpeta virtual para realizar el análisis correspondiente. El escáner de prueba funcionó correctamente y responde a las necesidades esperadas para la toma de muestras.

Sin embargo, con la experiencia de realizar el levantamiento, es posible considerar que los resultados esperados son más que el conjunto de puntos referenciales en 3 dimensiones.

En otras palabras, se ha podido establecer que a pesar de contar con la tecnología y el personal calificado para utilizarla, gestionar la logística necesaria para contar con la presencia de cada trabajador escaneado y disponer de los tiempos de la empresa correspondiente, eso es solo el comienzo. Posteriormente, los datos deben ser procesados y analizados, correlacionados con otras medidas y establecer los parámetros de corte según estas correlaciones para establecer las medidas del respirador a diseñar.

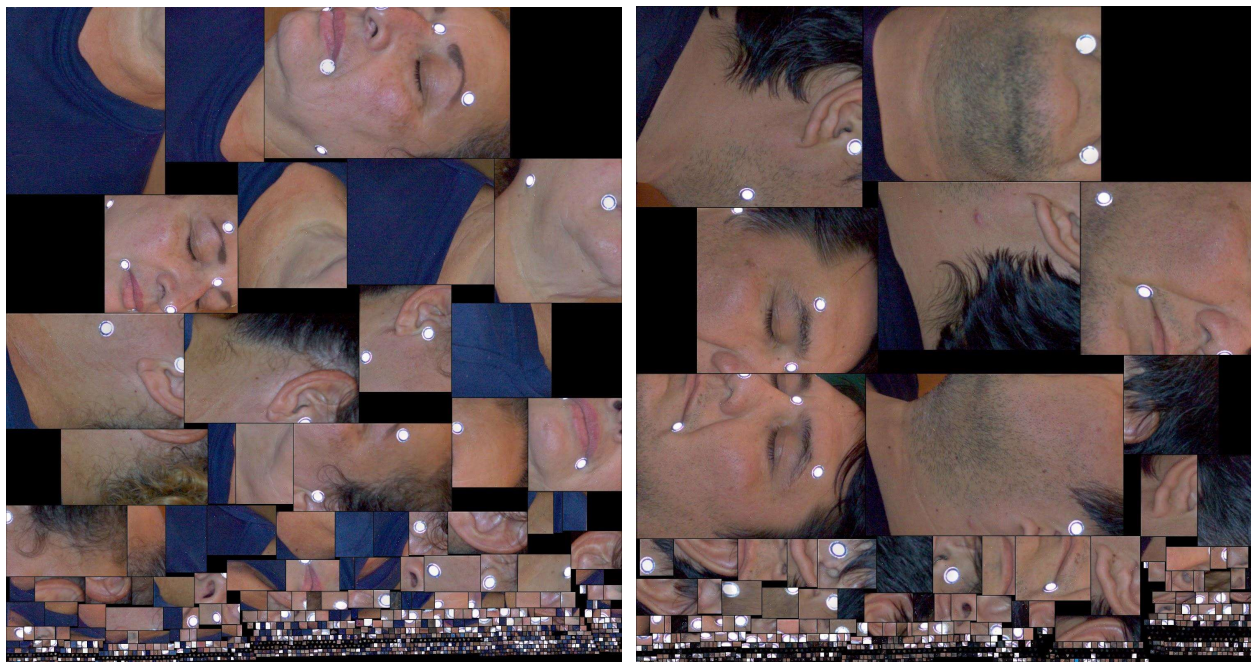


Figura 10: Como resultado inmediato, el escáner identifica planos por color y guarda segmentos de imágenes en un archivo .hml, el cual se aplica como textura en un archivo posterior.obj para realizar el texturizado del objeto virtual resultante.

3.1 Resultados esperados

Se han tomado como referencia los resultados del estudio “*Level of match between facial dimensions of Chilean workers and respirator fit test panels proposed by LANL and NIOSH*” (Rodríguez et al., 2020) publicado el año 2021 para la visualización de los resultados.

El escáner genera un archivo en formato .OBJ, de donde se obtienen las medidas referenciales (figura 11). Con estas medidas se generan gráficos bivariantes y generar cuadros o células de corte con respecto a las medidas.

Los gráficos bivariados son representaciones que contraponen dos variables, en eje X y en eje Y respectivamente. Con una muestra representativa, es posible abstraer la información dura de los datos en rangos que definen el alcance de un cuadro.

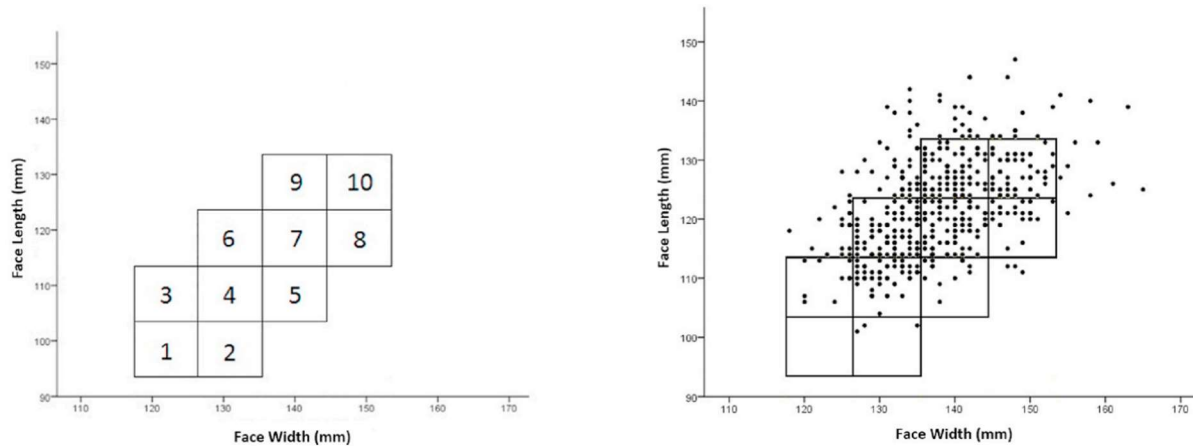


Figura 12: Gráfico bivariado que representa la distribución de la muestra en Los Alamos National Laboratory (LANL).

En el caso de la figura 12, el gráfico en ambas versiones representa el largo en comparación al ancho del rostro de los trabajadores chilenos censados el 2020.

Por un lado los cuadrados numerados de la primera imagen representan los segmentos de la tabla de LANL, utilizada para el diseño de respiradores americanos. Al lado izquierdo, es posible observar que los datos levantados (representados por los puntos) no encajan en los segmentos de la tabla, es más, prácticamente 2 cuadros (1,2) no abarcan un porcentaje representativo, y un grupo importante de personas queda fuera del alcance de la tabla.

En la figura 13, el gráfico representa las mismas variables, sin embargo, los segmentos de la tabla de NIOSH, también utilizada para el diseño de respiradores americanos abarca de mejor manera el segmento de trabajadores medidos, es decir, es aplicable en este caso para la población graficada (trabajadores de las regiones V y RM)

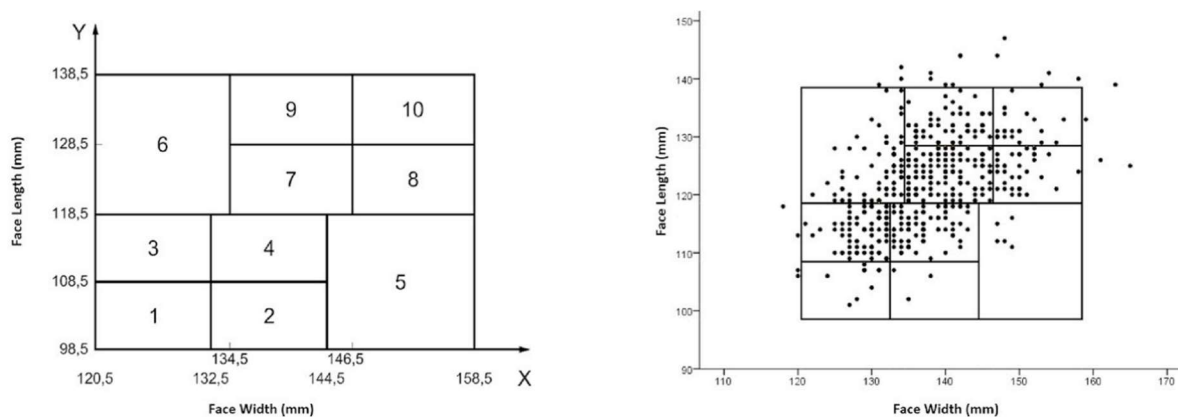


Figura 13: Gráfico bivariado que representa la distribución de la muestra usando la tabla bivariable NIOSH.

Es posible identificar que el diseño de la tabla es diferente, y por ende abarca de mejor manera las medidas de los trabajadores medidos. Es posible identificar que gran parte de la muestra quedó

representada en la tabla (95.4%) y que el cuadro o segmento con mayor número de individuos es el 7 (25.1%), seguido del cuadro 3 y 4 con un 15.2% cada uno. (Rodríguez et al., 2020)

4. Discusión

Cabe destacar que la tabla NIOSH sirvió de base para el desarrollo de la ISO 16976-2:2022 por lo que podríamos considerar el hecho de que este método estándar efectivamente abarca una parte importante y representativa de la población chilena.

Con esta afirmación es posible argumentar que el estudio planteado con base al cambio tecnológico, el levantamiento de datos con tecnología de escáner versus tabla de mediciones análoga no se justifica, o al menos pierde relevancia.

Adicional a este argumento, se comparó la misma tabla con una muestra de población china, en donde el segmento donde más individuos se enmarca era el 5 con un 26.4%, seguido por los recuadros 4 y 2 con un 25.9% y 16.3%, abarcando un total de 96.4%. Es decir, independiente de la diversidad de la muestra, el método NIOSH e ISO/TS 16976-2 han demostrado ser útiles y aún atingentes para el diseño de respiradores tanto de medio como de rostro completo. (Rodríguez et al., 2020)

Por otro lado, el estudio propuesto para este proyecto contempla la implementación de la tecnología de escáner, la cual recolecta y almacena más y mejor información por la capacidad de retener detalles que aún no se han procesado o no se ha visto la necesidad de hacerlo. Diferencias en pliegues de la piel, almacenamiento de grasas, gesticulaciones en el habla y otras innumerables diferencias de procesamiento en software soportan y estimulan a la academia centros de investigación a seguir con el levantamiento de datos.

Los datos que puedan procesarse de estos estudios con escáner pueden ser animados para gesticular el habla en diferentes cuadros de las tablas propuestas, lo que sin duda modifica las medidas consideradas en cada una de las tallas de respirador.

5. Conclusión

De acuerdo a las pruebas preliminares realizadas y el estado del arte revisado por el departamento de Investigación, desarrollo e innovación de la empresa Masprot, es posible concluir que incorporar tecnología de escáner para fortalecer las bases de datos de las medidas antropométricas nacionales, focalizadas en cabeza y rostro, representan un aporte significativo no solo para este proyecto en particular, sino también para otros proyectos venideros.

Se hace necesario estudiar en profundidad y familiarizarse con los métodos planteados en la ISO 16976-2:2022 como las tablas NIOSH para el diseño de elementos de protección respiratoria, ya que las estas tablas abarcan un amplio espectro de medidas antropométricas a nivel global. El aporte que pueda significar involucrar medidas dinámicas y detalles dérmicos debido a la precisión tecnológica podría revelar nuevos aspectos de usabilidad, comodidad y confort de usuarios que deben protegerse durante varias horas diarias o gran parte de su jornada laboral.

La especificidad de los datos y conocimiento técnico requerido para realizar este estudio se escapa del alcance del proyecto, por lo que se define generar una alianza estratégica con el Centro de

Estudios del Trabajo y Factores Humanos, quien liderará el estudio y proporcionará los datos e interpretaciones correspondientes para que desde ese punto de inicio, Masprot desarrolle este proyecto de diseño y manufactura del Intercomunicador Inalámbrico.

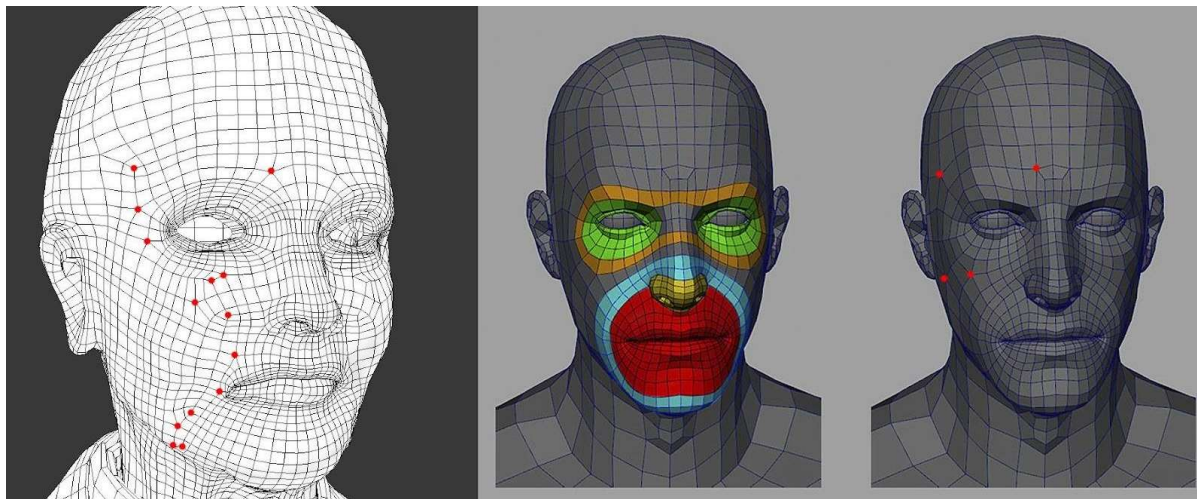


Figura 14: Ilustración de potencial en base a un modelo ficticio donde pueden ser captadas y revisadas las medidas faciales y de cabeza de una persona en particular como del rango de medidas que se establezca, mejorando la exactitud, evitando errores y habilitando mediante software e inclusive IA para modelar movimiento y restricciones a los elementos a diseñar.

6. Referencias

Castellucci, I., Viviani, C., & Martínez, M. (2017). *Tablas antropométricas de la población trabajadora chilena*. Universidad de Valparaíso, Mutual de seguridad.

[https://www.mutual.cl/portal/wcm/connect/98d0e1fb-621b-4a7e-baf1-](https://www.mutual.cl/portal/wcm/connect/98d0e1fb-621b-4a7e-baf1-57ad603c6f16/tablas_de_antropometria_de_la_poblacion_trabajadora_chilena.pdf?MOD=AJPERES)

[57ad603c6f16/tablas_de_antropometria_de_la_poblacion_trabajadora_chilena.pdf?MOD=AJPERES](https://www.mutual.cl/portal/wcm/connect/98d0e1fb-621b-4a7e-baf1-57ad603c6f16/tablas_de_antropometria_de_la_poblacion_trabajadora_chilena.pdf?MOD=AJPERES)

Nariño Lescay, R., Alonso Becerra, A., & Hernández González, A. (n.d.). ANTROPOMETRÍA.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS TECNOLOGÍAS PARA LA CAPTACIÓN DE LAS

DIMENSIONES ANTROPOMÉTRICAS. *Rev.EIA.Esc.Ing.Antioq*, n.(26).

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372016000200004

Rodríguez, A. A., Escanilla, D. E., Caroca, L. A., Albornoz, C. E., Marshall, P. A., Molenbroek,

J. F.M., & Castellucci, H. I. (2020). Level of match between facial dimensions of Chilean

workers and respirator fit test panels proposed by LANL and NIOSH.

9.2 Consideraciones electrónicas de diseño



Consideraciones electrónicas de diseño

Revisión de los componentes del
sistema y sus parámetros de usabilidad

Julio 2023

Resumen

El siguiente informe técnico se enmarca dentro del contexto del proyecto Intercomunicador Inalámbrico MASPROT, codificado para usos de la Ley I+D de Corfo como proyecto PI-5100 denominado **Diseño y desarrollo de un equipo de protección y comunicación inalámbrica para la industria minera.**

En este informe se indaga en los criterios que permitieron comenzar con el diseño de las partes y piezas que alojarán los componentes electrónicos, sus consideraciones de uso y su alcance técnico, para así definir la estrategia y potencial escalamiento industrial y sus líneas de producción correspondientes

Con el precedente del Intercomunicador M900, se inicia mejorando las falencias ya identificadas del producto, desde la dificultad de inyección, la fragilidad de los pines de la tapa y la fragilidad de los cables. Luego se profundiza en los nuevos componentes de esta versión inalámbrica, el protocolo de comunicación, las fuentes de energía y la compatibilidad del sistema con los equipos de radio portátil que usan nuestros clientes.

Desde el comienzo del proyecto, se ha buscado un aliado alternativo que reemplace lo que en sus inicios realizó Solunova. Esta búsqueda concluye con la contratación de la empresa WISELY, contactada y entrevistada previamente para validar su experiencia y conocimiento en el tema. En un hito importante, se ha logrado establecer en una reunión con el fabricante chino SZSAFEWAY, y posteriormente con RayTalk, considerando las características clave para el desarrollo del primer componente de este sistema de 4 elementos, en donde se divide y posteriormente se articulan los datos transferidos inalámbricamente a las fuentes emisoras como receptoras.

En conclusión, el desarrollo ha evolucionado hasta el momento como fue planificado, sin descartar posibilidades de futuras complicaciones, el ideal es concluir con el sistema de comunicación integrado en los elementos de comunicación, en una versión de prototipo, para que esta pueda ser reconocida y probada por los usuarios en ambientes controlados, para luego del *feedback* inicial se puedan producir una preserie de unidades para enviarlas a terreno.

Es posible visualizar para la producción industrial que será necesario habilitar un área de ensamblaje de componentes electrónicos, armado y testeo de productos y subproductos del sistema. El diseño de esta área, en términos espaciales y logísticos, podrá ser definido al final del proceso de diseño del sistema.

1. Introducción

El inicio de este proyecto se remonta al año 2011, cuando la empresa Masprot y la empresa Solunova se reúnen en torno a un objetivo común, eliminar el riesgo de los trabajadores de exponerse a factores ambientales de riesgo debido a la imposibilidad de comunicarse por el uso de elementos de protección personal.



Figura 1: Registro fotográfico de trabajadores removiendo elementos de protección personal para poder comunicarse. Este registro fue captado durante pruebas reales en Codelco división Chuquicamata, con operadores que durante gran parte de su jornada deben usar elementos de protección personal.

El acuerdo de desarrollo fue que cada empresa pueda elaborar y gestionar la parte que corresponde acorde a su experiencia de mercado. Por parte de Masprot, los elementos de protección respiratoria como auditiva debían adaptarse para poder alojar los componentes adicionales que se necesiten. Por parte de Solunova quedaría entonces la tarea de diseñar y definir los componentes electrónicos idóneos para que la comunicación entre usuarios de los elementos modificados sea clara y confiable.

De esta manera, el desarrollo se inicia mediante la intervención directa de los elementos, el respirador de ese entonces estrenándose, SUPRIME M500 y la copa del protector auditivo MPA 101C con elementos de electrónica básica.



Figura 2: Registro fotográfico de primeras intervenciones en los elementos Masprot.

Los parámetros de uso del sistema fueron delimitados por el equipo de Solunova, los cuales en ese momento determinaron que era posible una opción cableada, y por otro lado una opción inalámbrica. Sin embargo, se definió rápidamente que deberíamos partir por la versión más simple, por lo que se inició por la cableada.



En esta versión, se esperaba un prototipo rápido para poder probar la primera versión lo antes posible y así comenzar con la producción industrial. El primer obstáculo llegó inmediatamente al percatarse que el audio receptado desde el respirador era inentendible, incluso por los operadores que llevaban años en faena, quienes tienen el “oído educado” a esas condiciones de comunicación.

Figura 3: Diagrama original de versión cableada.

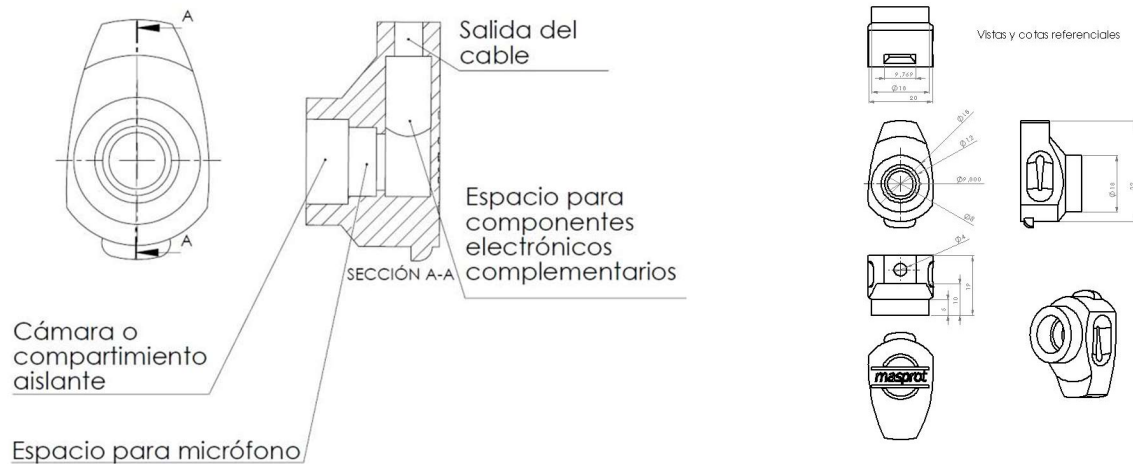
Consideraciones de usabilidad en versión cableada

Parámetro	Propósito	Propuesta	Prioridad
Indicador auditivo para conexión de dispositivos/cables, para on/off y para la batería	Evitar la pérdida de conexión por motivos que el usuario no pueda percatar	Cada indicador debe ser diferente para ser identificado	...
La conexión de los cables es orientada por el tacto a los conectores	Facilitar la conexión considerando el uso de guantes	Ensamble tipo “embudo” para la conexión de cables	..
Los conectores deben desconectarse a tirones	Evitar accidentes al ser arrastrada la cabeza	Conectores a presión o con giro, pero sensibles	...
Partes y piezas en venta y ensamble por separado	Posibilitar la reparación por medio de repuestos	Los elementos NO deben fabricarse fusionados	..
Software amigable a comunicación automática	Evitar gestos que retardan la comunicación	Establecer comunicación por proximidad	.
Sonido estéreo	Lograr una recepción auditiva de mejor calidad	Intervenir pieza “puente” entre audífonos	.

Tabla 1: Consideraciones de usabilidad determinadas en ese momento como críticas.

Fue en ese momento cuando se determinó alojar el micrófono en una cápsula adosada a la tapa del respirador, que protegería al micrófono del ruido externo por su condición de compartimento aislante, y por podría escuchar al usuario mediante una membrana vibradora.

El diseño de ese elemento contenedor debía cumplir con las funciones de protección y aislante, además de las consideraciones de uso. Así es como se materializó la primera versión que se fabricó en forma artesanal, de manera de poder hacer pruebas en laboratorio y en terreno lo antes posible. Se podría considerar el nivel de avance tecnológico en esos momentos equivalente a un TRL 4.



Figuras 4 y 5: Planimetría de la cápsula receptora de vibración. Elemento que en esos momentos se declara como el elemento innovador del sistema, por lo que debía protegerse intelectualmente.

La producción de estas primeras piezas fue fabricadas en la incipiente tecnología de impresión 3D, que en aquel entonces era de uso médico o dental, recientemente explorada para versiones industriales solo en países desarrollados.



La evolución natural fue elaborar una matriz de inyección que adhería los elementos entre sí con un polímero tipo caucho sintético, lo que complicó las primeras pruebas, pero rápidamente fueron superadas en el taller de matricería y la planta de inyección de Masprot.

Junto a esta primera pre-serie productiva, el equipo de Solunova desarrolla la memoria descriptiva y presenta en INAPI una postulación a patente de invención el día 15-11-2012.

Esta patente es aceptada y publicada el 23-05-2013. (WO2013071458A1)

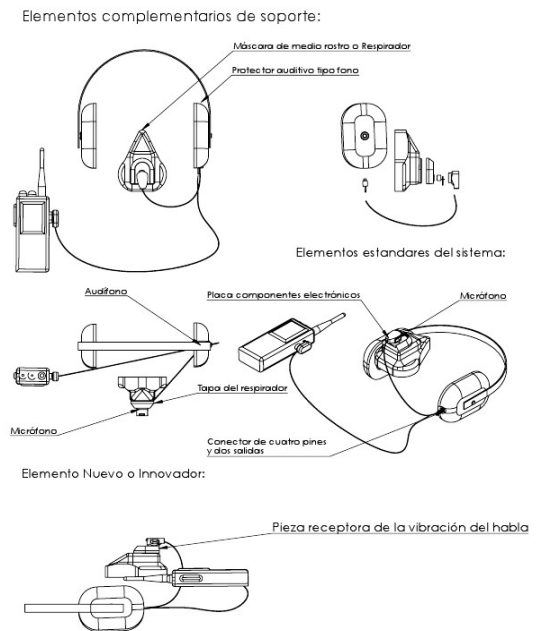
Figuras 6: imagen editada de una foto en terreno, probando por primera vez el Intercomunicador M900 en su primera versión por un usuario que no pertenece al equipo desarrollador.

El diagrama explicativo del sistema en explosión (fig.7) detalla los primeros elementos considerados para la comunicación que quedan en el registro de propiedad intelectual, describiendo parte de la solución que más adelante evolucionará a otros componentes.

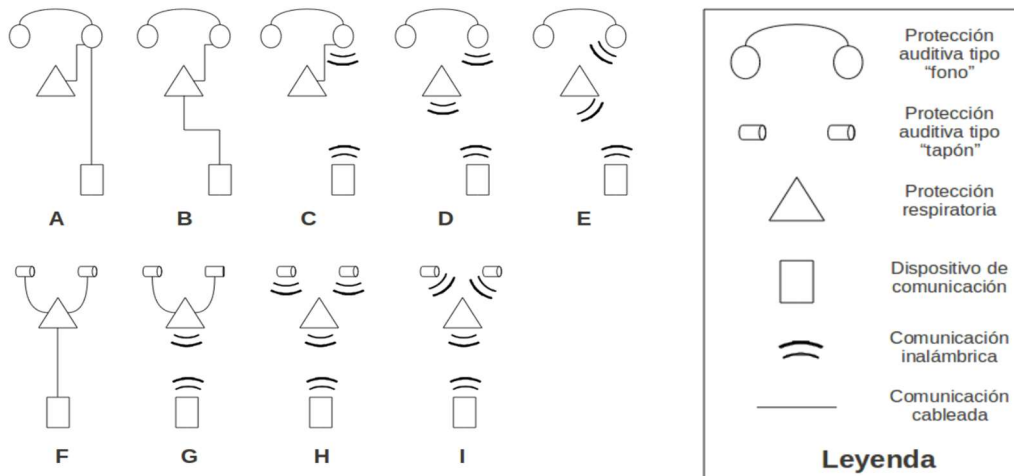
Al estudiar el tema y ser asesorados por una firma de abogados de propiedad intelectual, se definió que aunque conociendo que este no sería el modelo definitivo, de igual forma era necesario marcar el hito de reclamo ante INAPI, por lo que parte del diagrama del sistema en detalle, se anexa otro diagrama, ahora conceptual, abarcando todas las posibles variantes del sistema (fig.8)

Es así como al menos 9 diferentes versiones quedan dentro del registro de patente. Para el caso de este proyecto, se aproxima a la versión indicada con la letra D.

Sistema de comunicación en explosión



Figuras 7: Diagrama original presente en la patente de invención presentada el año 2012 por Solunova.



Figuras 7: Diagrama conceptual de las potenciales versiones a desarrollar que protegen la patente de invención.

Primeras pruebas en terreno: planta concentradora Codelco Chuquicamata, marzo 2012.

Al momento de hacer las pruebas, el sistema se encontraba funcionando eléctricamente a nivel de laboratorio, pero era necesario contrastar la simulación con las condiciones reales, lo que arrojó desde el primer día las primera correcciones que se debieron realizar al prototipo.



Figura 8: Fotografía que advierte complejidades al momento de montar el equipo por primera vez.

Se recogió la sugerencia de que el equipo pueda conectarse y desconectarse fácilmente, ya que desconectar la pera o micrófono parlante requería de una herramienta y tiempo extra para dejar operativo nuevamente el sistema de la forma convencional.

También se consideró elevar la prioridad de que el sistema comunique de forma estéreo, lo cual fue considerado desde el inicio, pero con baja prioridad. Finalmente, el cambio fue a un sonido mono doble.

De esta forma nace el concepto de una pera bifuncional, que extiende por separado el micrófono y el audífono, lo cual impulsa al equipo a un nuevo desarrollo electrónico.

Lo primero y más evidente fue la robustez de los cables, los que con 2.5 milímetros de espesor parecían ser extremadamente frágiles y fáciles de cortar en cualquier maniobra cotidiana, incluso simplemente colocando el equipo por primera vez.

Otra observación importante fue que se limitaba el equipo de radio a conectarse directo al sistema, y una vez que ya no se necesitaban los elementos de protección, era necesario desarmar el equipo para poder usar nuevamente la radio.



Figura 9: Diagrama original de la idea materializándose.

Otra observación fundamental recogida en terreno fue que la cápsula que protegía al micrófono no era suficiente para aislar los sobre 100 decibeles de ruido de estas zonas de trabajo, lo que mezclaba la voz del usuario con el ruido externo.



Figura 10 y 11: Registro fotográfico de la toma de muestras con decibelímetro, demostrando la exposición de riesgo de los usuarios del sistema.

Una vez de regreso al laboratorio, se gestionaron los cambios necesarios para aumentar el presupuesto de elementos electrónicos y considerar una pera que integre las condiciones necesarias para ser compatible con el sistema de comunicación convencional, y con una conexión simple poder activar el intercomunicador.

Esta separación de canales traería mayores beneficios, ya que el sistema al funcionar por separado abarca más situaciones de uso. De esta forma, el usuario elige si quiere usar solo respirador, pero sin protección auditiva, y deja abierto el canal para que el parlante de la pera se escuche en alta voz, y lo mismo al sentido contrario.

Por otro lado, se descarta la cápsula exterior y se traslada al interior del respirador. Este cambio representa un doble desafío ya que la cápsula interior estaría más protegida del ruido, pero expuesta a altas temperaturas, humedad y saturación por la voz. Y por otro lado la señal del micrófono debía ser conducida por una conexión doble que atravesara el respirador mediante un conector.

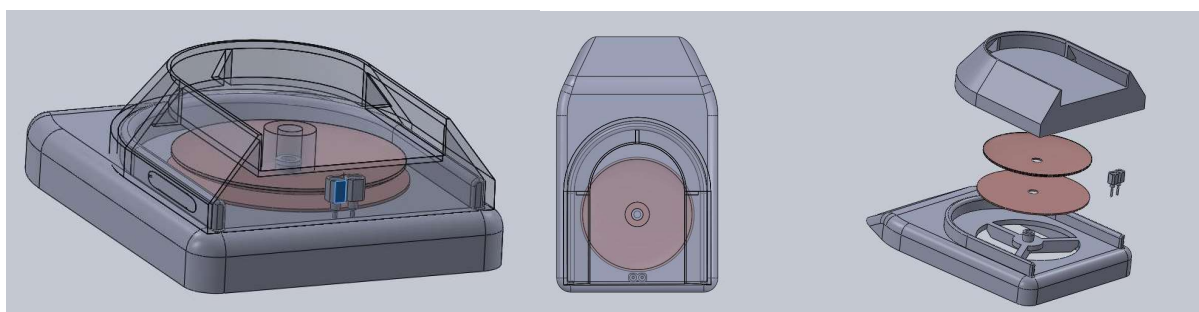


Figura 12: Modelamiento de las primeras propuestas de intervención para alojar el micrófono dentro del respirador

Nuevas pruebas en terreno: planta concentradora y fundición Codelco Chuquicamata, abril 2013.

Luego de un año de modificaciones, fabricación de partes y piezas, e importación de nuevos componentes, el sistema de comunicación se materializa en su nueva versión y se alista para ser probado en terreno.

Los principales cambios son la incorporación de una pera adaptada con vías separadas de emisión y recepción de audio. Además se incorpora la cápsula del micrófono al interior del respirador, lo que mejora la calidad de la voz notablemente, al punto que los operadores declaran que nunca se había escuchado tan bien en estos sectores.



Figura 13: Fotografía del sistema en uso aún con partes impresas en 3D

La primera prueba resulta exitosa y eleva la confianza y expectativas del equipo desarrollador y de ambas empresas involucradas.

El producto se prueba en diferentes faenas y cumple con el estándar inicial, logrando las primeras ventas que dentro del primer año de producción superan las 500 unidades.

El proyecto se presenta en diferentes concursos de innovación y seguridad industrial, donde consigue el reconocimiento y levanta interés en diferentes mercados.

A pesar del éxito inicial, parte del equipo desarrollador plantea nuevas mejoras y recomienda programar las siguientes versiones en pos de responder al exigente mercado minero.

Una de las tantas mejoras fue la fragilidad del pin de conexión del micrófono, el cual se quebraba si es que la tapa del respirador se coloca en la dirección contraria.

También los usuarios que no habían conocido la primera versión exigían menos cables, por temas de seguridad la conexión de los EPP con cables aumentaba el riesgo de atrapamiento con algún equipo o maquinaria en movimiento.

Finalmente, el equipo desarrollador se desintegró y el producto quedó hasta esa versión.



Figura 14: Diagrama explicativo del manual de uso, advirtiendo la disposición correcta del encaje de las piezas.

2. Intercomunicador Inalámbrico

Luego de la experiencia de desarrollo de las primeras versiones del Intercomunicador M900, es posible generar hoy en día una versión completamente renovada, recogiendo lo aprendido y actualizando la tecnología. La continuación de este proyecto diez años después significa una ventaja y un desafío a la vez. La ya nombrada experiencia sirve de base, sin embargo, los cambios tecnológicos hacen replantear el esquema general, especialmente en términos de ingeniería eléctrica-electrónica.



Figura 15: Diagrama de venta actual de Intercomunicador M900

El diagrama de la figura 15, representa el producto sistema actual, y los números indican los enfoques donde se reflejarán las intervenciones para la versión inalámbrica.

1. El respirador es el icono del sistema y el desafío más relevante desde Masprot como empresa fabricante. Se proyecta el diseño de un respirador completamente nuevo, analizando las medidas antropométricas del estudio en desarrollo, más la incorporación de características físicas para facilitar la gesticulación del habla, los elementos electrónicos adicionales son:
 - Conservar la cápsula del modelo M900 debido al éxito demostrado en condiciones reales.
 - Eliminar el cable de conexión e incorporar un sistema con protocolo de comunicación inalámbrica alojado en una placa PCB (idealmente alojado fuera del respirador, conectado a la cápsula del micrófono mediante pines retráctiles y placas de contacto
 - Batería que alimenta el sistema.
 - Pulsador de On-Off y pareado de sistema inalámbrico
 - Vibrador y LED como indicador de encendido, pareado y baja batería.

1. Los protectores auditivos deben transmitir la señal y además proteger del ruido atenuando con mayor estándar que el modelo utilizado en el M900. Observaciones actualizadas de visitas a terreno han demostrado que los usuarios no consideran el modelo MPA 101C como un protector de alto estándar, lo que no puede arriesgar el rechazo del producto por la atenuación, por lo que se ha definido diseñar uno completamente nuevo. Los componentes electrónicos adicionales que estos protectores deben tener, aparte de los de atenuación son:
 - Parlantes de impedancia 8 Ohm, de consumo entre 0.5 y 2 W en cada copa.
 - Cable de conexión entre copas en espiral, por definir si se conserva un conector eléctrico de estándar IP68 o cable permanente.
 - Sistema con protocolo de comunicación inalámbrica alojado al interior de la copa, sobre una placa PCB fija a la estructura.
 - Batería que alimenta el sistema.
 - Pulsador de On-Off y pareo del sistema inalámbrico.
 - LED indicador de encendido y pareado.
2. El micrófono parlante o más conocido como la pera, es elemento triangular, ya que recibe dos señales y transmite dos señales por separado utilizando la radio. El desarrollo de este elemento es crítico para la multifunción del equipo, es decir que pueda usarse solo respirador, solo protector auditivo o ambos en su conjunto.

Para que esto sea posible, se proyectó en un primer momento insertar un transmisor que conecte con el diseño de la pera actual, de esta forma el mismo subproducto podría usarse en la versión cableada como en la versión inalámbrica. Este transmisor debía tener conector, batería y transmisor inalámbrico entre otros elementos, sin embargo, el fabricante de la pera actual cesó de sus fabricaciones debido a la pandemia de 2019-2021, por lo que el desarrollo debe realizarse completamente con un nuevo fabricante.
3. El cuarto elemento, que no existe en el sistema del M900, es el cargador de baterías de los elementos, el cual se proyectó como un receptáculo o contenedor, que además de cargar las baterías de los elementos pueda usarse para guardar y transportar el sistema, al modo de un maletín, similar al de la primera versión.

2.1 Desarrollo de componentes eléctrico - electrónico

Tal como fue descrito anteriormente, el socio estratégico para esta sección del proyecto es la empresa Wisely, con quienes se ha estado desarrollando los puntos de enfoque descritos, y la estrategia definida hasta el momento es partir con el diseño de los elementos electrónicos en los componentes 1, 2 y 3 con protocolo Bluetooth 5.2. La programación para este desarrollo (fig. 16) se ha programado para mediados de agosto del presente año.

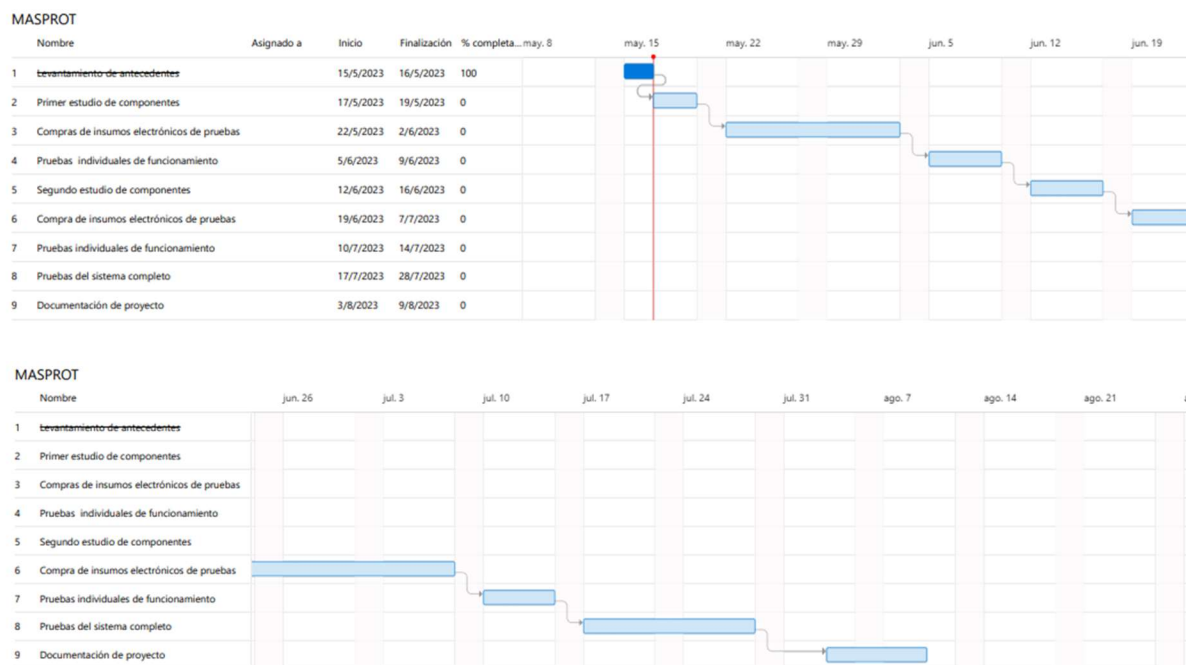


Figura 16: Carta gantt del desarrollo presentada por Wisely a Masprot desde mayo 2023.

Paralelo al desarrollo programado, se ha planteado un contacto permanente con la segunda empresa aliada (SZ Safeway) para la fabricación del resultado del desarrollo para el componente 3, la pera o micrófono parlante.

En el transcurso de los correos y reuniones que se han realizado como equipo desarrollador, se ha podido determinar como hito importante que la pera puede integrar dentro de sus componentes el sistema de comunicación inalámbrico bidireccional, sin necesidad de acoplar un transmisor extra como se pensó en un inicio, y además se confirmó la posibilidad de disponer de la energía necesaria para alimentar la transmisión de datos desde el equipo de radio, sin necesidad de incorporar una batería.

El siguiente diagrama muestra la nueva propuesta conceptual del desarrollo de la pera inalámbrica, lo que está en espera de confirmar la factibilidad técnica, los costos y los tiempos de fabricación.

Puede observarse en el diagrama de la izquierda que se proponen dos modificaciones al case o carcasa exterior. Por un lado, dos switches que de manera independiente activen y desactiven la conexión con los equipos dentro de los protectores, y en la parte superior los LED que indiquen el correcto pareo con cada equipo



Figuras 17 y 18: Diagramas de representación conceptual para validación técnica del fabricante. En primera instancia la respuesta es positiva, nos mantenemos a la espera de los costos asociados a esta fabricación customizada.

2.3 Elección de las baterías

A continuación, se detalla el avance en la búsqueda de las baterías de cada componente, lo que también definirá el elemento 4 del sistema electrónico, el cargador de estas baterías.

En las primeras propuestas conceptuales, enfocadas desde la experiencia del usuario, se pensó en incorporar las baterías al momento de fabricar los componentes, con la finalidad de limitar las partes de cada componente. Sin embargo, a medida que se despiezan las partes y piezas, se considera oportuno considerar la batería como un elemento anexo que puede ser intercambiable, incluso en terreno, facilitando la continuidad del uso en operaciones.

Es así como se comienza con las especificaciones de consumo y rendimiento, considerando un mínimo de 8 horas de funcionamiento continuo, para garantizar la comunicación en al menos un turno. De esta forma, los cálculos entregados por el desarrollador son:

- Consumo protector auditivo -> 12mA módulo bluetooth + 15mA led + 10% delta -> $12 + 15 = 27 * 1.1 = 29.7\text{mA} \approx 30\text{mA}$
- Cálculo de batería -> tiempo * consumo -> 8 horas * 30mA = 240mAh @3.7V
- Consumo máscara -> 5mA módulo bluetooth + 35mA MCU + 15mA led + 5% motor + 10% delta -> $5 + 35 + 15 = 55 * 1.15 = 63.25\text{mA} \approx 64\text{mA}$
- Cálculo de batería -> tiempo * consumo -> 8 horas * 64mA = 512mAh @3.7V

Con estos datos, la búsqueda se desarrolla priorizando sumar el mínimo de peso que pueda cumplir con el rendimiento indicado. Pero luego de evaluar las primeras baterías de Ion-Litio de entre 600 y 850 mAh, se descartaron por criterio de uso, ya que al ser estas del tamaño de una moneda o de la fragilidad y similitud a un papel envuelto, existía la posibilidad de ser confundida y desechada, perdida o simplemente olvidada en un bolsillo y generaría problemas.

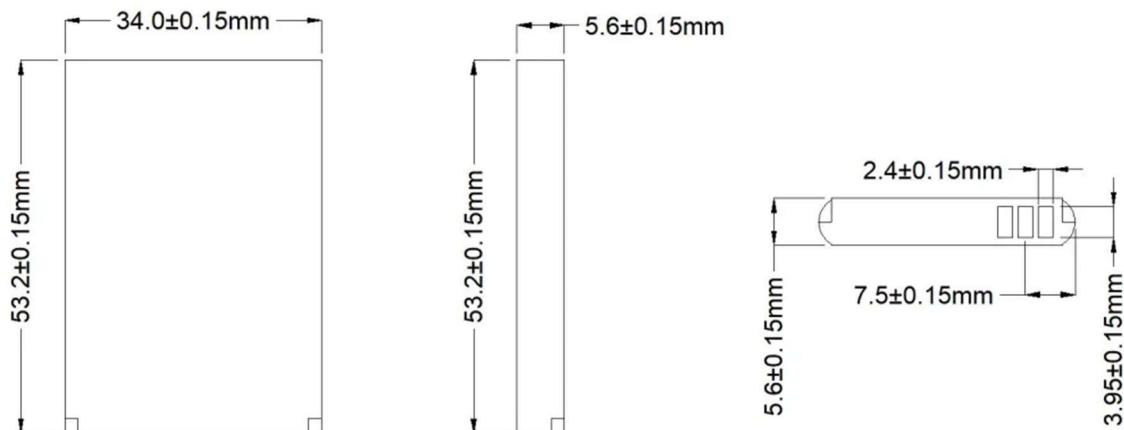
Es por ese criterio que se sube el amperaje de capacidad a 1000 mAh, contribuyendo además a que el equipo pueda durar incluso un turno de 12 horas sin problema.

Con la búsqueda focalizada en estas nuevas características, se han definido 2 modelos de baterías como las mejores candidatas entre un gran número de opciones revisadas. Estos modelos y sus principales características son:

1. BL-5C

- BL-5C 1020 mAh; Voltaje: 3.7V; Voltaje de carga: 4.2V; Tipo de batería: iones de litio. Dispositivos compatibles que utilizan batería BL-5C, ampliamente utilizados para radio, altavoz bt, cámara.
- Protección de corriente: evita sobrecarga y descarga, sobrecorriente y cortocircuito, más seguridad.
- Materiales de protección del medio ambiente: no contiene mercurio, plomo, cadmio como sustancias nocivas.
- Ahorro de energía: baterías recargables, fuerte reciclaje, protección del medio ambiente.

Lithium battery pack:



Figuras 19: Planimetría con dimensiones de batería BL-5C. Peso de la batería: 17 grs.

Originalmente son baterías utilizadas para teléfonos Nokia, tienen un suministro significativo de electricidad, por lo que incluso en dispositivos potentes pueden funcionar durante bastante tiempo entre recargas.

La batería BL 5C es un tipo de dispositivo de iones de litio, por lo tanto, tiene un peso relativamente bajo, prácticamente sin efecto memoria y puede cargarse y descargarse repetidamente (hasta 1000 veces), casi sin pérdida de capacidad.

Un circuito controlador moderno proporciona un alto recurso, que no permite que la batería se use en modos inapropiados.



Figuras 19: More power.bigbadmole.com/es/: <https://power.bigbadmole.com/es/akkumulatory/batarei/bl-5c.html>

1. LI-B90



Figura 20: Dependiendo del fabricante y el modelo, la batería aumenta la capacidad y peso, no así las dimensiones.

Originalmente utilizada para cámaras digitales, esta batería de dimensiones 37 mm* 34 mm *8.2 mm es más pequeña pero más gruesa que la BL-5C, y aumenta su capacidad de carga en 50 mAh extra. Con respecto al peso, es solo 5 gr más pesada que la primera, pero su grosor deja la sensación de que es más robusta.

Model	BM048LI90B-2BM
Voltage	3.6V
Capacity	1100mAh
Battery Type	Li-ion Battery

Product Parameters

Brand: KingMa

Name: LCD Dual Charger

Model: BM048-LI90B

Size : 90*56*22mm

Input : 5V 2.1A

Output: 500mA*2/700mA*1



Brand: KingMa

Model: LI-90B/92B

Standard Voltage: 3.6V

Power: 3.9Wh

Capacity: 1100mAh





Figura 21: El cargador de este modelo de batería parece ser el idóneo para el contexto del producto en proyección.

La capacidad de estas baterías va a depender del fabricante, cuanto capacidad declara y los ciclos de carga definirán la calidad y el precio de la versión de la batería. Estas baterías deberán ser testeadas en uso normal y bajo condiciones extremas para garantizar el bienestar de los usuarios.

Estas pruebas se realizarán en el laboratorio de Calidad de Masprot para que sea definida la batería ideal.

3. Conclusión

Es posible concluir que el avance hasta este momento es acorde a lo programado, sin embargo aún estamos a la espera de elementos en proceso de importación para poder unir las piezas y definir los componentes finales.

La experiencia del Intercomunicador M900 permite reutilizar elementos que se sabe de su calidad y funcionamiento, como lo es el micrófono en la cápsula del respirador, los parlantes en las copas, y los conectores.

Por otro lado, dicha experiencia también nos orienta a elegir mejores pines de conexión y cables más robustos. Por último, los elementos nuevos como las placas PCB con los transmisores inalámbricos, las baterías y los cargadores deberán ser puestos a prueba junto a los primeros prototipos y ser evaluados para su posterior validación.

9.2 Consideraciones anatómicas de diseño

Two sets of decorative wavy lines, composed of many thin, parallel, curved lines, extend horizontally from the left and right sides of the central dark red box. They curve upwards and inwards towards the box.

Consideraciones anatómicas de diseño

Una mirada al usuario desde su
composición interna

Julio 2023

Resumen

El siguiente informe técnico se enmarca dentro del contexto del proyecto Intercomunicador Inalámbrico MASPROT, codificado para usos de la Ley I+D de Corfo como proyecto PI-5100 denominado **Diseño y desarrollo de un equipo de protección y comunicación inalámbrica para la industria minera.**

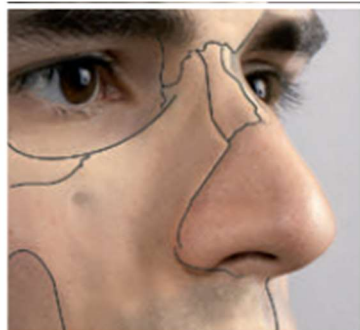
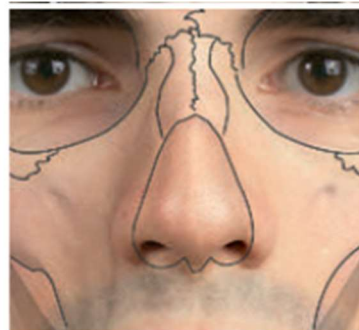
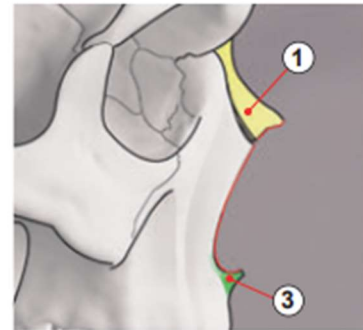
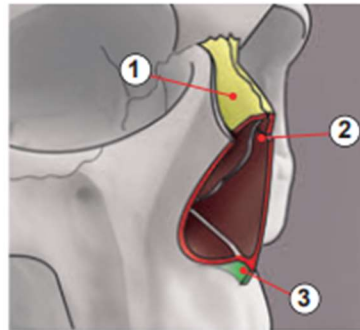
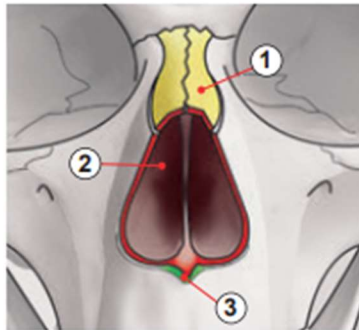
El objetivo de este informe es revisar los componentes anatómicos del usuario, los movimientos y gesticulaciones que involucran el acto de comunicarse a través del habla, y cómo estos podrían ser considerados al momento de diseñar un elemento de protección respiratoria tanto que incluya un sistema electrónico incorporado o no, entendiendo que el modelo de respirador a plantear saldrá al mercado en su versión básica, es decir sin elementos electrónicos, como en su versión full con electrónica incluida.

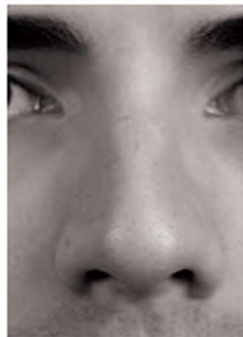
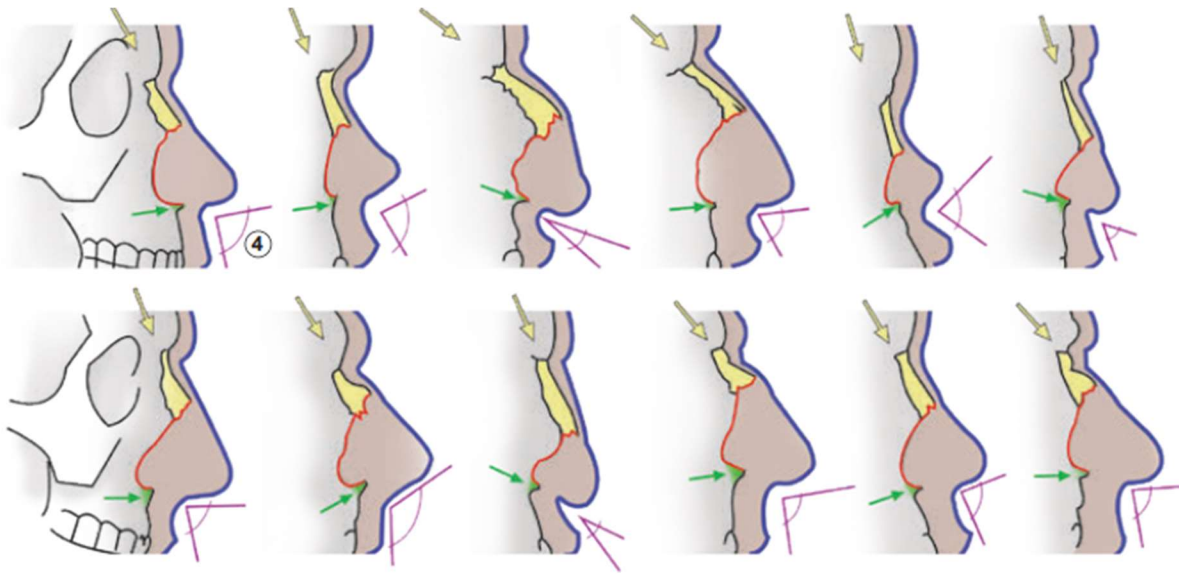
Es posible declarar que a pesar de la diversidad de respiradores de medio rostro y rostro completo, incluyendo aquellos que poseen una válvula fónica para facilitar la salida del sonido de la voz al exterior, ninguno ha sido diseñado desde el enfoque de facilitar la gesticulación del habla, priorizando exclusivamente el sello de protección y descuidando la comunicación.

De forma adicional, se han incorporado observaciones transmitidas por usuarios y otras del equipo de Calidad de Masprot, con el fin de integrar potenciales mejoras diferenciadoras aparte de la gesticulación del habla. Un ejemplo de estas es incorporar adaptaciones para compatibilizar protección ocular o lentes ópticos con el respirador, al igual que los protectores auditivos admitan o se vinculen con las extensiones de esta protección sin presionar sobre la sien del usuario. Otra observación es integrar algún elemento que permita liberar la condensación del vapor de la respiración del interior del respirador, sin afectar el sello de protección. Otra observación a destacar es el roce o tensión del cuello cuando el respirador de medio rostro es usado por horas, generalmente genera molestia.

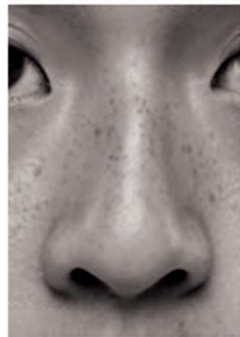
En conclusión, el detalle de cada observación y posterior excursión de potenciales soluciones han materializado directrices que orientan el diseño de las primeras líneas de la forma siguiendo a la función, posicionando al usuario al centro.

Es posible visualizar que en base a las observaciones planteadas, que el sistema podrá ser complementado a medida que los usuarios se identifiquen con la solución y esta esté a la altura de lo que este exigente mercado demanda.

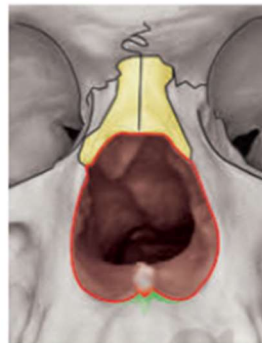




EUROPEAN



ASIAN

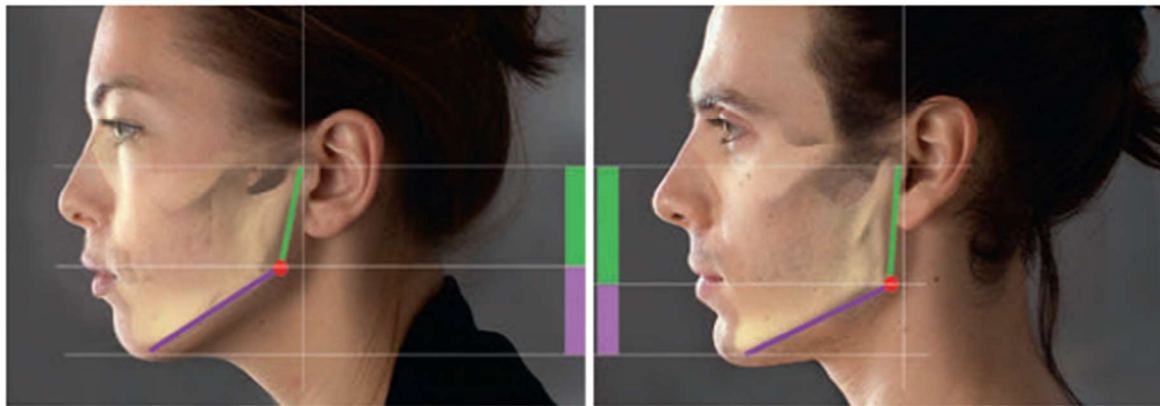
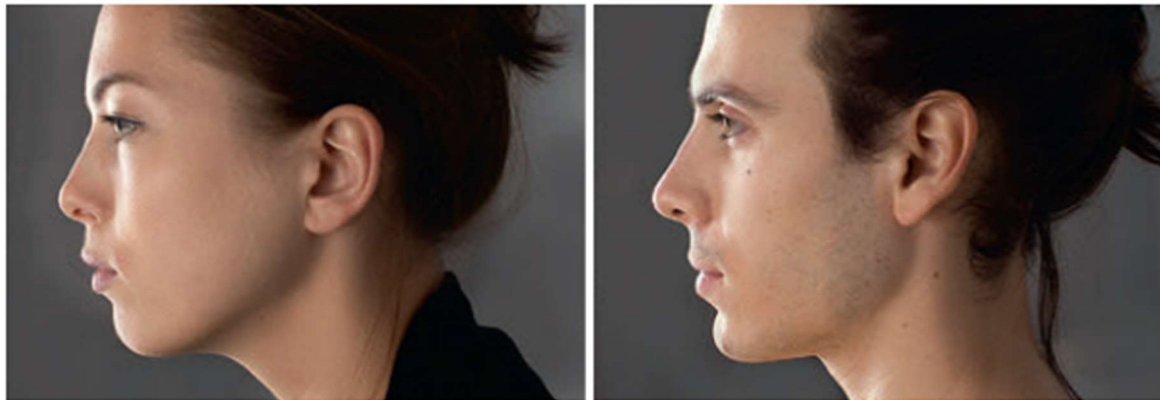


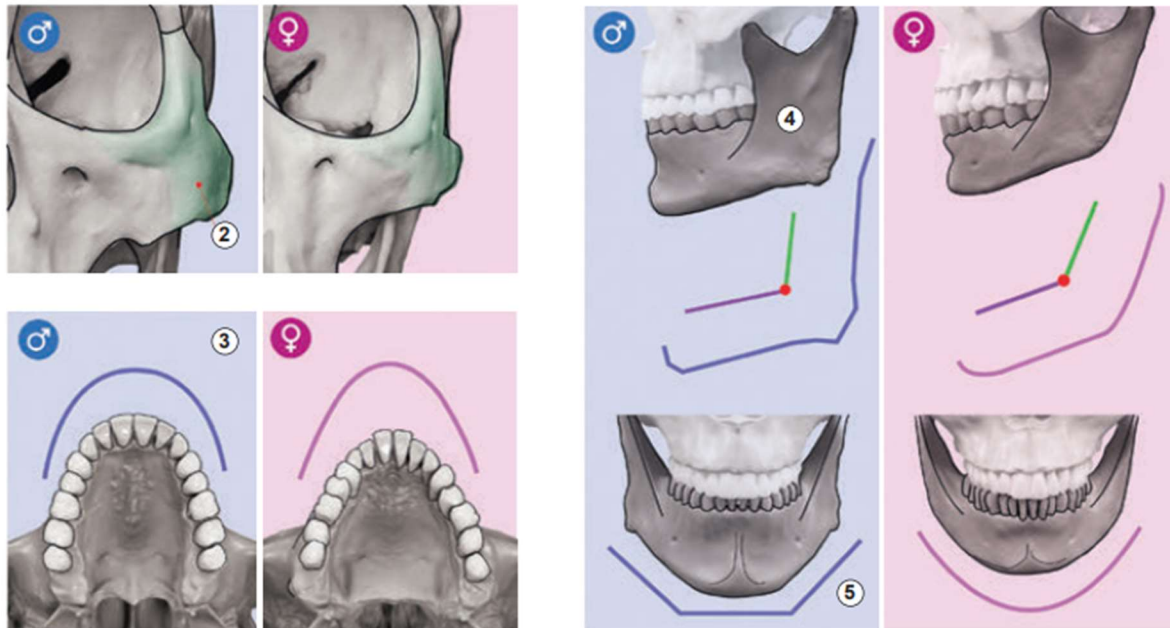
AUSTRALIAN



AFRICAN

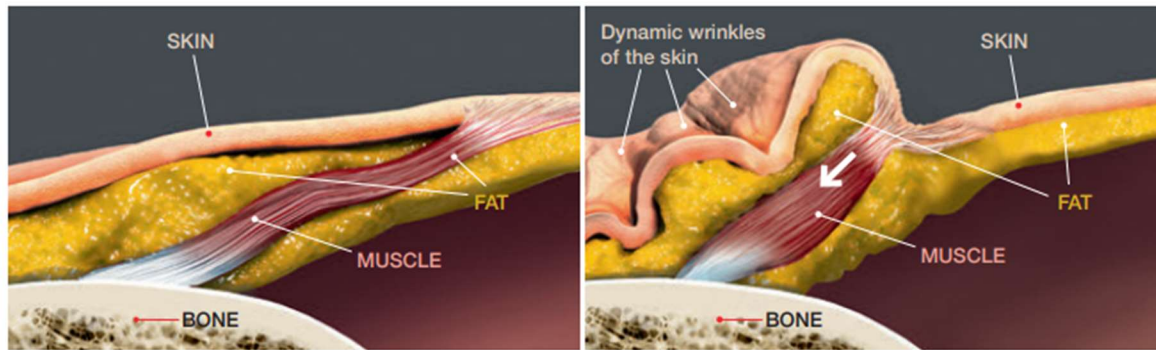
FEMININE AND MASCULINE GONIAL ANGLE



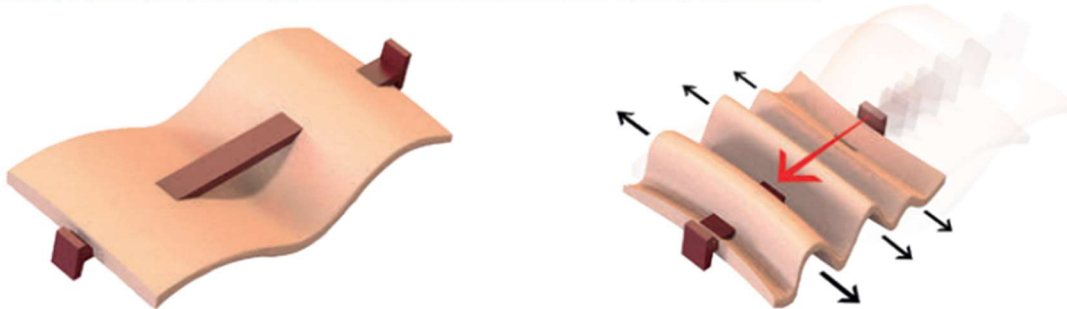


	MALE	FEMALE
① SKULL IN GENERAL	LARGER, MORE RUGGED	SMALLER, SMOOTHER, MORE GRACILE
② ZYGOMATIC PROCESS	LARGER	SMALLER
③ PALATE	LARGER, BROADER, TENDS TO BE U-SHAPED	SMALL, TENDS TO BE PARABOLIC OR MORE V-SHAPED
④ RAMUS OF THE MANDIBLE	MORE VERTICAL, ANGLE CLOSE TO RIGHT ANGLE	OBTUSE ANGLE
⑤ MANDIBLE	TENDS TO HAVE A SQUARE SHAPE	TENDS TO HAVE POINTED CHIN SHAPE

FACIAL MUSCLES MOVE THE SKIN RATHER THAN A JOINT WHEN THEY CONTRACT.

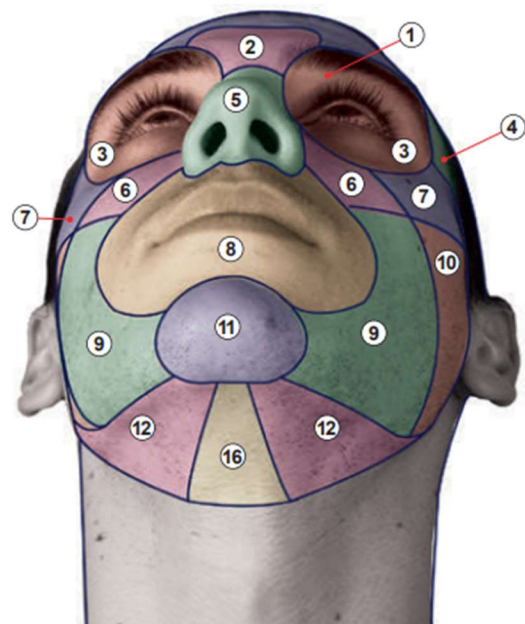
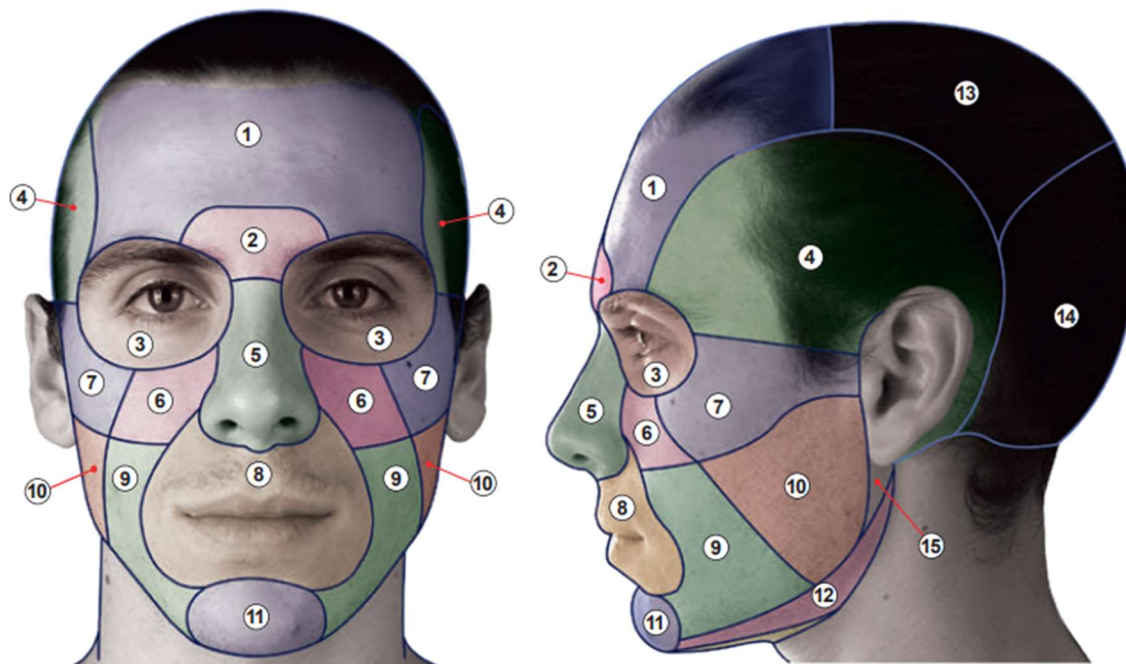


DYNAMIC WRINKLES APPEAR AS LINES IN THE **SKIN** OVERLYING THE CONTRACTED **MUSCLE**. THESE **WRINKLES** ARE ALWAYS ORIENTED IN A **PERPENDICULAR DIRECTION** RELATIVE TO THE **MUSCLE** FIBERS.

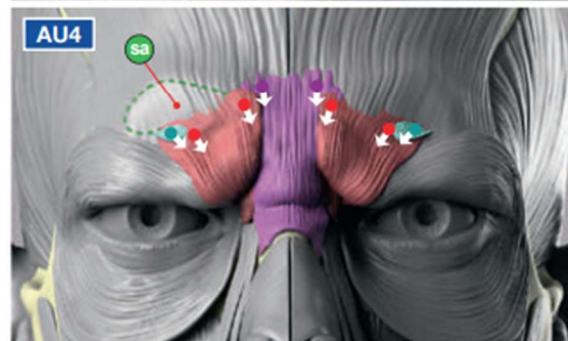
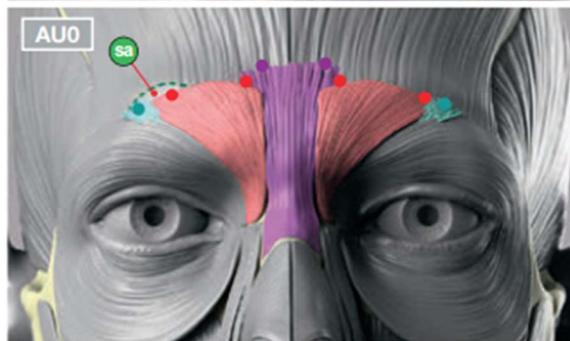


PUEDEN MOVER Y DESPLAZAR LA SUPERFICIE DE LA PIEL, LA GRASA ALMOHADILLAS, E INCLUSO OTROS MÚSCULOS FACIALES. LAS CONTRACCIONES MUSCULARES FACIALES CAUSAN ARRUGAS, SURCOS, CRESTAS Y PROTUBERANCIAS. LA COMBINACIÓN DE ESTOS CAMBIOS ES LO QUE LLAMAMOS EXPRESIONES FACIALES.



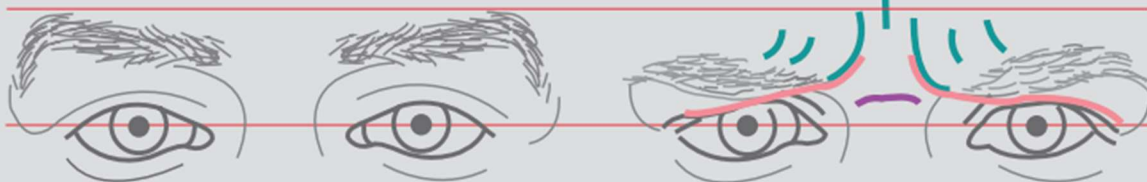


①	FRONTAL REGION
②	GLABELLAR REGION
③	ORBITAL REGION
④	TEMPORAL REGION
⑤	NASAL REGION
⑥	INFRAORBITAL REGION
⑦	ZYGOMATIC REGION
⑧	ORAL REGION
⑨	BUCCAL REGION
⑩	PAROTID-MASSETER REGION
⑪	MENTAL REGION
⑫	SUBMANDIBULAR TRIANGLE
⑬	PARIETAL REGION
⑭	OCCIPITAL REGION
⑮	RETROMANDIBULAR FOSSA
⑯	SUBMENTAL REGION



● THE **CORRUGATOR** AND **DEPRESSOR SUPERCILII** PULLS THE EYEBROWS TOGETHER AND DOWNWARDS, PARTLY COVERING THE UPPER EYELID, CREATING VERTICAL WRINKLES BETWEEN THE EYEBROWS AND BECAUSE THE EYEBROW MOVES DOWN, IT MAKES SUPERCILIARY ARCHES MORE VISIBLE (sa).

● THE **PRO CERUS** PULLS THE SKIN OF THE GLABELLAR REGION DOWN AND CREATES A LINE ACROSS THE BRIDGE OF THE NOSE.



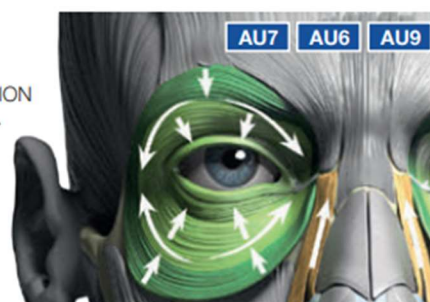
AU7E (Eyelid Tightener) (ORBICULARIS OCULI (palpebral part))

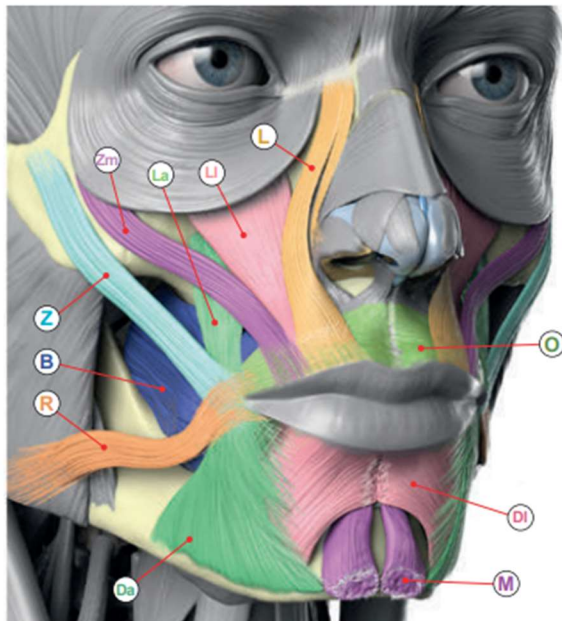
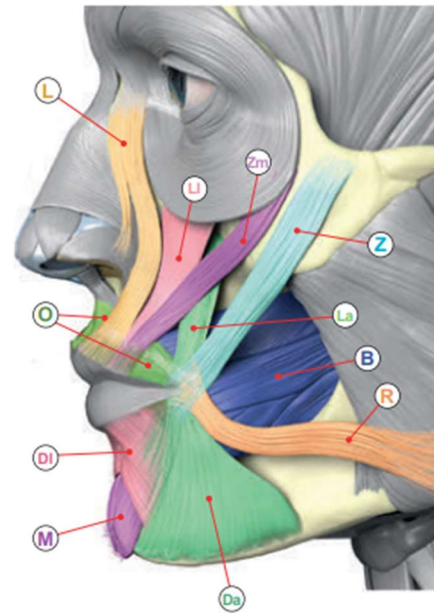
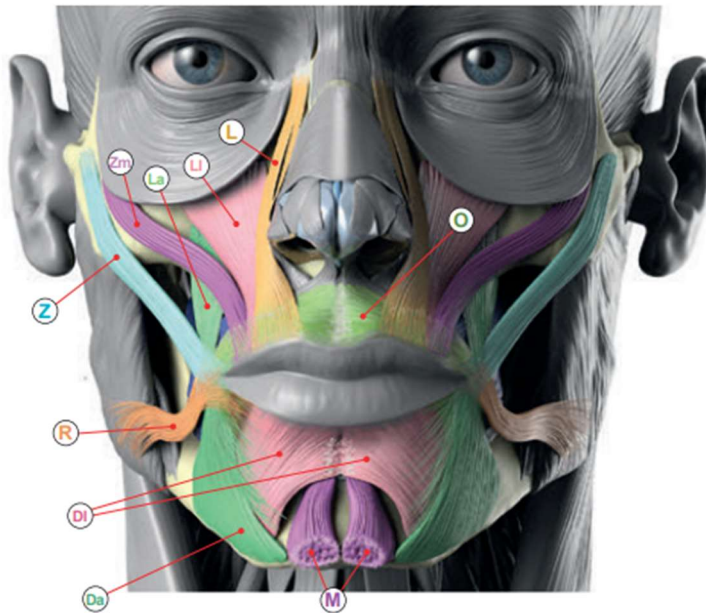
AU6 (Cheek Raiser) (ORBICULARIS OCULI (orbital part))

AU9 (Nose Wrinkler) (L. L. S. A. N.)

AU43E (Eyes Closed). LETTER **E** STANDS FOR MAXIMUM STRENGTH OF ACTION

- SKIN AROUND A LARGER CIRCUMFERENCE IS PULLED TOWARDS THE EYE.
- SKIN BELOW THE LOWER EYELID IS PULLED TOWARDS THE ROOT OF THE NOSE.
- THE INFRAORBITAL TRIANGLE BECOMES RAISED, CROW'S FEET WRINKLES APPEAR, AND THE INFRAORBITAL FURROWS DEEPEN, ALONG WITH FURROWING, OR WRINKLING BELOW THE LOWER EYELID
- THE EYEBROWS ARE LOWERED TO A LIMITED EXTENT

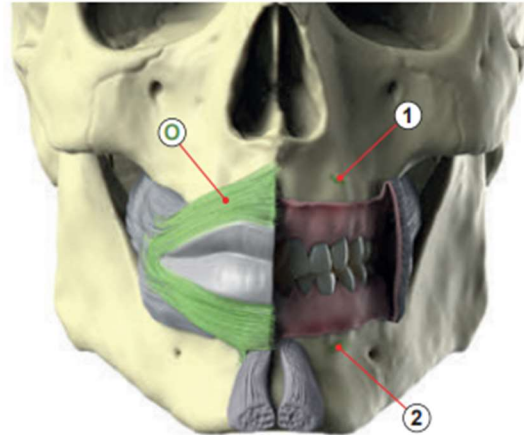
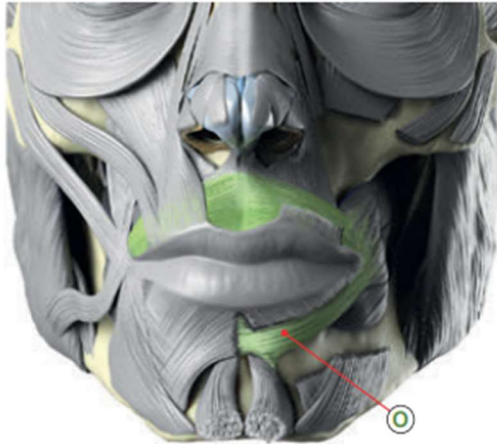




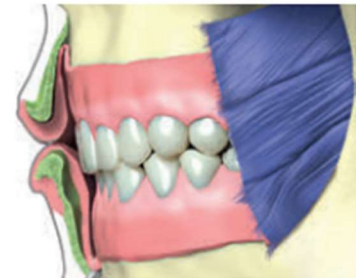
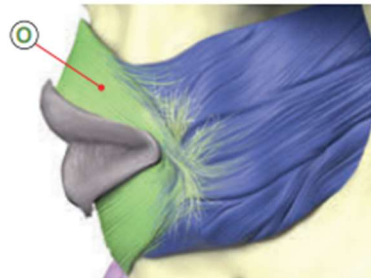
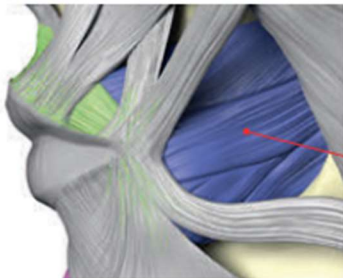
O	ORBICULARIS ORIS
L	L.L.S.A.N*
LI	LEVATOR LABII SUPERIORIS
Zm	ZYGOMATIC MINOR
Z	ZYGOMATIC MAJOR
La	LEVATOR ANGULI ORIS
B	BUCCINATOR
R	RISORIOUS
Da	DEPRESSOR ANGULI ORIS
DI	DEPRESSOR LABII INFERORIS
M	MENTALIS

*L.L.S.A.N – Levator labii superioris alaeque nasi muscle

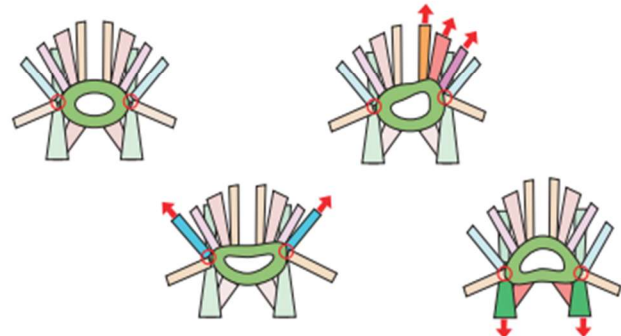
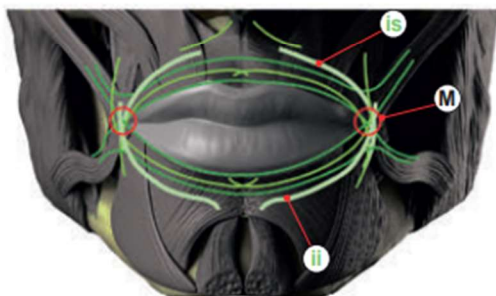
ORBICULARIS ORIS (O) MUSCLE CONTROLS MOVEMENTS OF THE MOUTH AND LIPS. SPECIFICALLY IT ENCIRCLES THE MOUTH, ORIGINATING FROM THE MAXILLA (upper jaw (1)) AND MANDIBLE (lower jaw (2)) THE MUSCLE INSERTS DIRECTLY INTO THE LIPS.



THE **ORBICULARIS ORIS (O)** IS A CIRCULAR MUSCLE AROUND THE MOUTH THAT CLOSES AND COMPRESSES THE LIPS. IT IS NOT A SPHINCTER MUSCLE, ALTHOUGH IT GIVES THE APPEARANCE OF ONE. IT IS MADE OF MULTIPLE STRATA OF MULTIPLE AXES OF MUSCULAR FIBERS SURROUNDING THE ORIFICE OF THE MOUTH. A CONSIDERABLE NUMBER OF ITS FIBERS INTERMINGLE WITH **BUCCINATOR (B)** MUSCLE FIBERS AND FORM THE DEEPER STRATUM OF THE **ORBICULARIS ORIS (O)**.



THE **ORBICULARIS ORIS** MUSCLE IS ONE OF THE MIMETIC, OR FACIAL EXPRESSION, MUSCLES THAT ARE FOUND IN ALL MAMMALS. IN HUMANS IT IS A COMPLEX, MULTI-LAYERED MUSCLE THAT ATTACHES VIA A THIN, SUPERFICIAL MUSCULOAPONEUROTIC SYSTEM TO THE DERMIS OF THE UPPER AND LOWER LIPS, AND SERVES AS AN ATTACHMENT FOR MANY **OTHER** MUSCLES OF THE ORAL REGION.

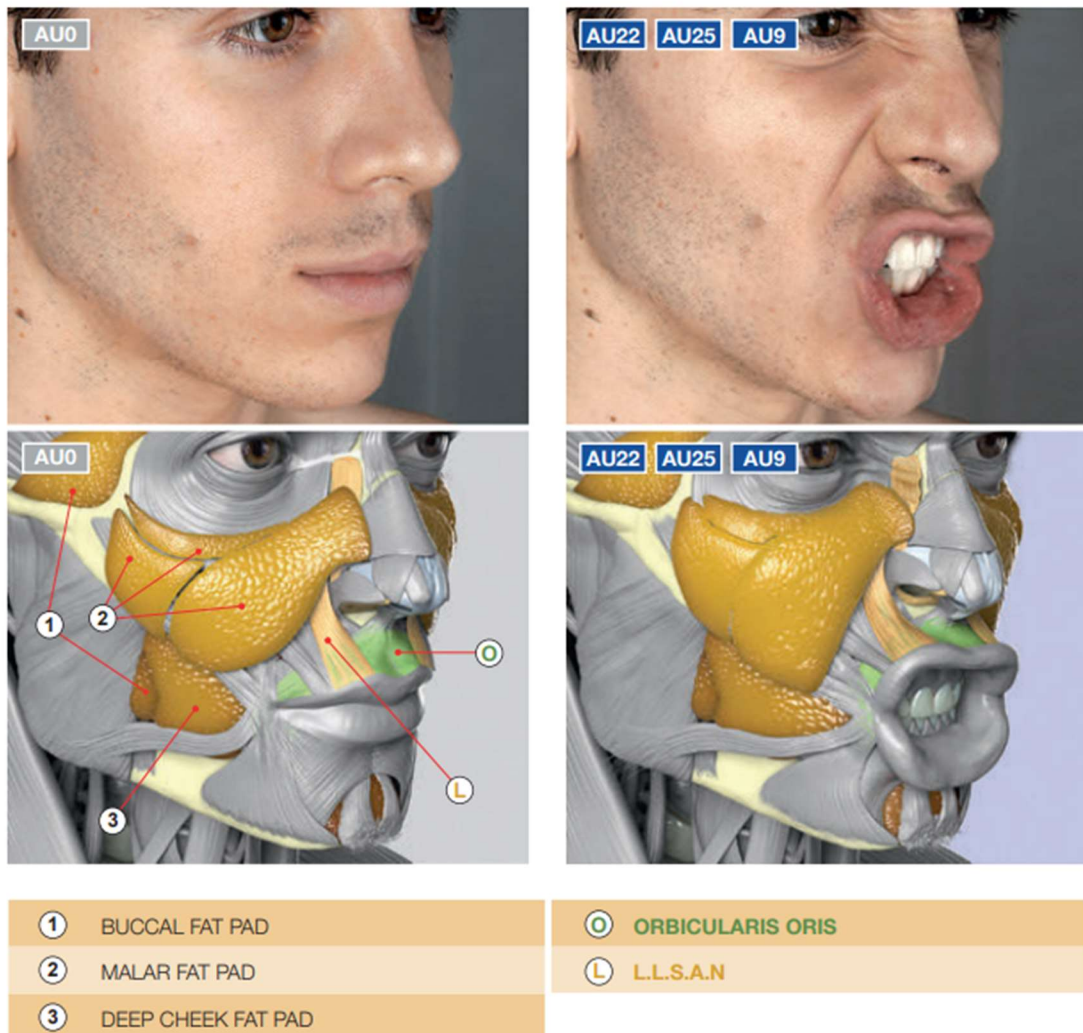


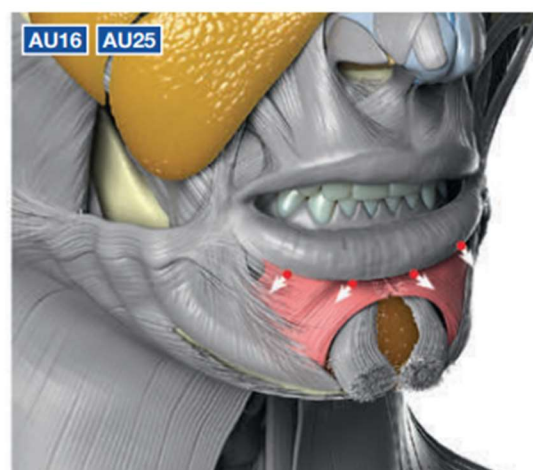
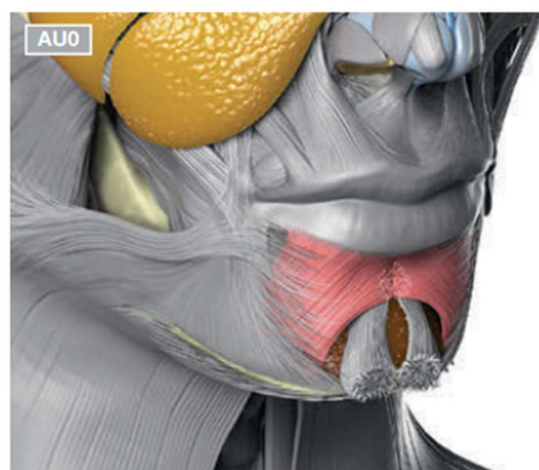
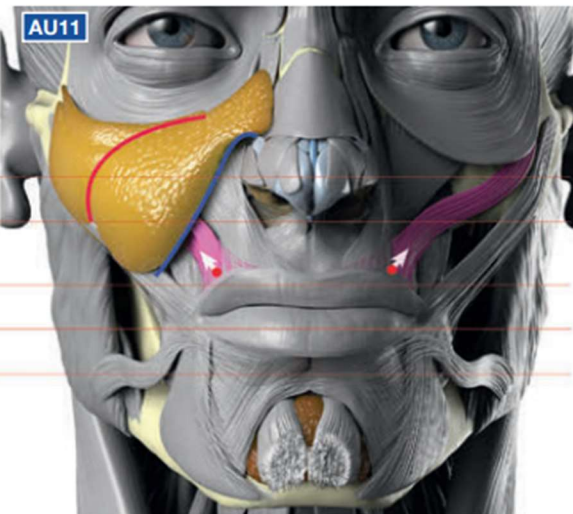
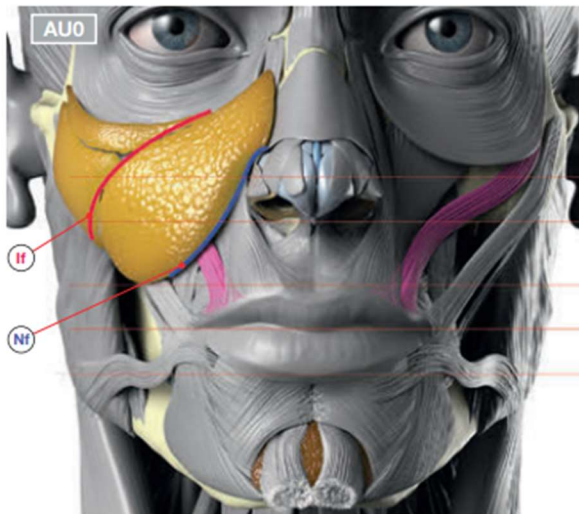
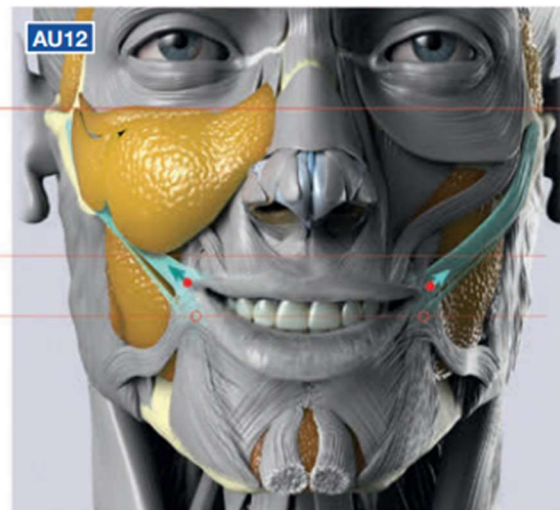
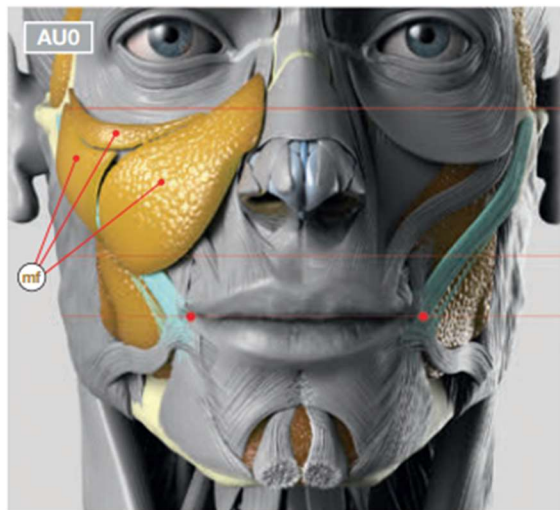
AU22 IS BASED ON THE **OUTER STRANDS** OF THE **ORBICULARIS ORIS (O)**. IN **AU 22+25** THE DIRECTION OF THE MOVEMENTS IS TO TIGHTEN THE SKIN SURROUNDING THE LIPS.

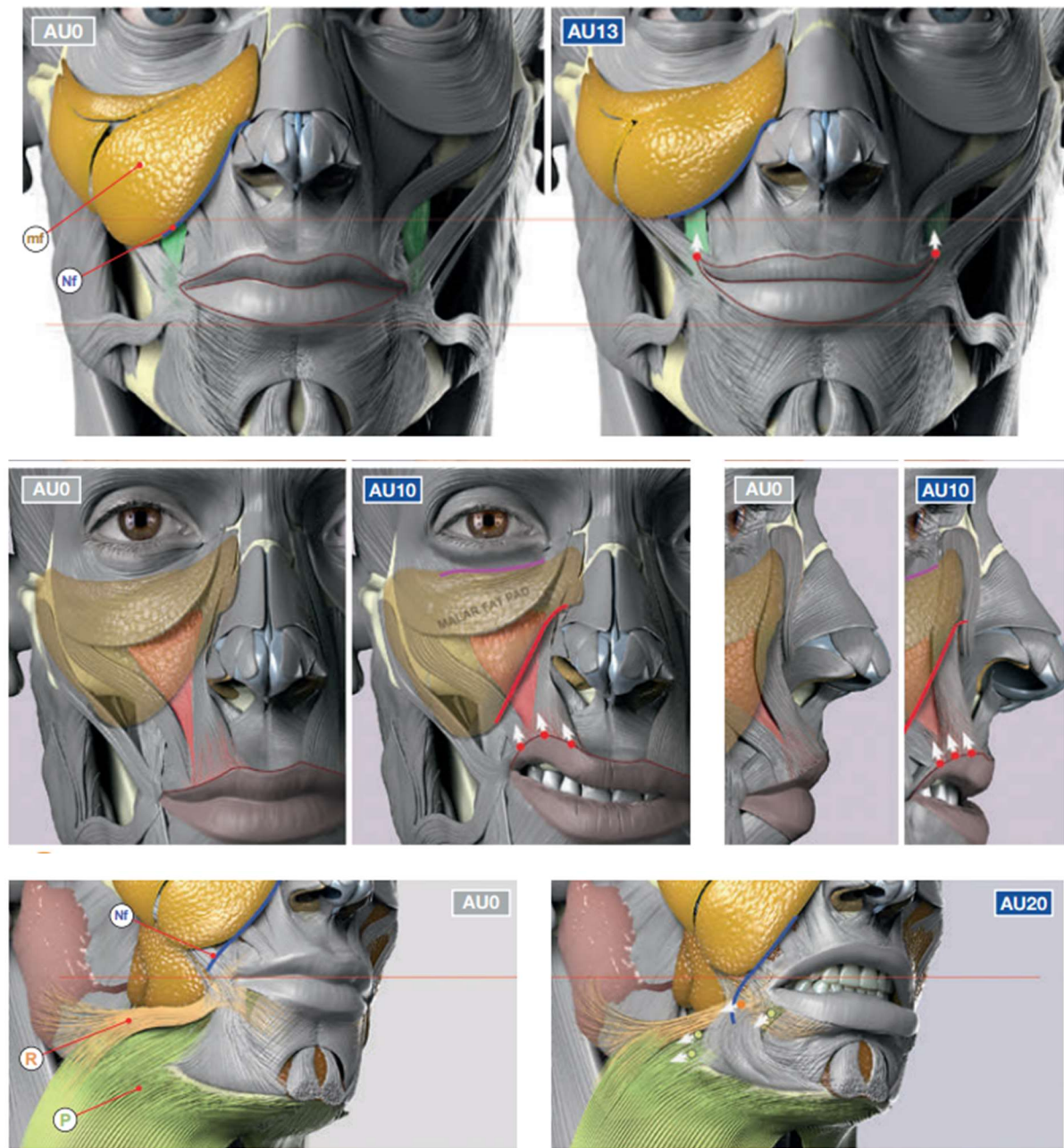
APPEARANCE CHANGES DUE TO AU22+25:

- a** – LIPS FUNNEL OUTWARDS TAKING ON THE SHAPE AS THOUGH THE PERSON WERE SAYING THE WORD “FLIRT”
- b** – PULLS IN MEDIANLY ON THE LIP CORNERS
- c** – EXPOSES THE TEETH AND MAY EXPOSE GUMS, OFTEN IN THE LOWER LIP MORE THAN THE UPPER
- d** – EXPOSES MORE OF THE RED PARTS OF THE LIPS AS THE LIPS MAY TURN OUT, OFTEN IN THE LOWER LIP MORE THAN THE UPPER
- e** – FLATTENS OR WRINKLES CHIN BOSS (this change is small)
- f** – IT IS POSSIBLE, ALTHOUGH NOT COMMON, FOR **AU22** TO AFFECT ONLY ONE LIP

APPEARANCE CHANGES DUE TO **AU9** INCLUDES ACTIVATION OF **L.L.S.A.N** MUSCLE AND IS DESCRIBED ON PAGE 74.







RELAXED



CONTRACTED



RELAXED



CONTRACTED

