

revista **IDI**

Tecnológico de Costa Rica ▪ Escuela de Diseño Industrial ▪ Revista Semestral

Volumen 3 Número 2 ▪ Enero - Junio 2021 ▪ ISSN 2215-5112



revistaIDI+

La Revista IDI+ es una publicación digital de carácter científico de la **Escuela de Diseño Industrial del Tecnológico de Costa Rica**. Es una revista **semestral, gratuita y de acceso abierto**, cuyo propósito es divulgar trabajos inéditos de investigación en el campo del diseño industrial y áreas afines. Está dirigida a investigadores, profesores, estudiantes, profesionales y expertos nacionales o extranjeros en el área del diseño y otros campos relacionados.

Comité Editorial

Editor/Director

IDI. Luis Carlos Araya-Rojas

[lcaraya@tec.ac.cr](mailto:lc araya@tec.ac.cr)

Coordinadora operativa

MDS. Xinia Varela-Sojo

xvarela@tec.ac.cr

Diagramación

Pamela Dinarte Chavarría

Foto de portada

Venus: Luminaria menstrual nómada.

Andrea Rojas-Jiménez, Katherina Jurburg-Chaves, Michelle Lacouture-Solís

Montaje realizado con render propio y foto de Dane Wetton en Unsplash:

<https://unsplash.com/photos/t1NEMSm1rgI>

Dirección y redes sociales

Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Campus Tecnológico Central Cartago.

Escuela de Diseño Industrial.

Cartago, Cartago, Calle 15, Avenida 14,

1 km Sur de la Basílica de Los Ángeles.

Apartado Postal: 159-7050

<https://revistas.tec.ac.cr/index.php/idi>



Indexaciones



Revista Semestral
Enero-Junio 2021
Volumen 3, N°2

ISSN: 2215 5112

Contenidos

Diseño de sistema inteligente para la distribución equitativa de agua en la GAM, Costa Rica.

Intelligent system design for equitable water distribution in GAM, Costa Rica.

Kristhian Solano-Camacho, Violeta Morice-Fernández..... 4

Totem: Diseño de piloto de sistema de productos inteligentes para aumentar la sensación de seguridad en las calles de Costa Rica.

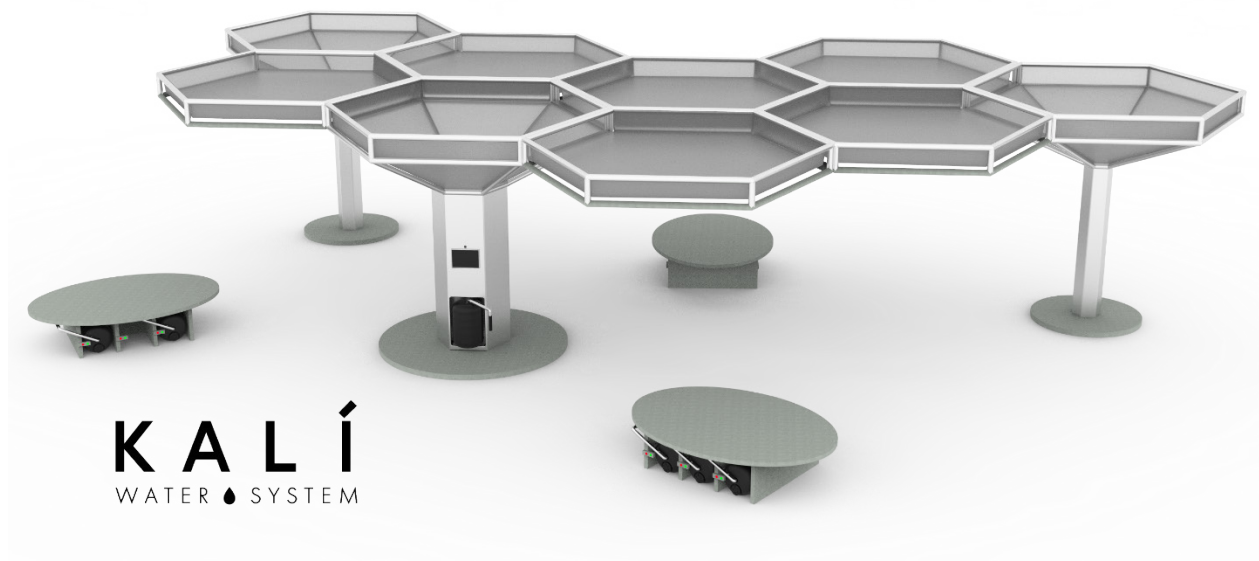
Totem: Pilot Smart Product Design to increase the sensation of safeness in the streets of Costa Rica.

Mónica I. González-Sosa, Jose P. Corella-Vargas 16

Diseño industrial y desarrollo de un bioimpedancímetro portable.

Industrial design and development of a portable bioimpedance monitor system.

Andrés Felipe Pineda-Alpizar, Federico González-Camacho, Javier Reina-Tosina, David Naranjo-Hernández, Gerardo Barbarov-Rostán..... 31



Diseño de sistema inteligente para la distribución equitativa de agua en la GAM, Costa Rica

Intelligent system design for equitable water distribution in GAM, Costa Rica

Kristhian Solano-Camacho¹, Violeta Morice-Fernández²

K. Solano-Camacho, V. Morice-Fernández, "Diseño de sistema inteligente para la distribución equitativa de agua en la GAM, Costa Rica", IDI+, vol. 3, no 2, Ene., pp. 4-15, 2021.


 <https://www.doi.org/10.18845/ridip.v3i2.5562>

Fecha de recepción: 5 de agosto de 2020

Fecha de aprobación: 29 de setiembre de 2020


1. Kristhian Solano-Camacho

Estudiante de Ingeniería en Diseño Industrial
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Cartago, Costa Rica
krisc1999@estudiantec.cr

 0000-0003-2077-7477

2. Violeta Morice-Fernández

Estudiante de Ingeniería en Diseño Industrial
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Cartago, Costa Rica
vmorice@estudiantec.cr

 0000-0002-9675-6579

Resumen

Año tras año, la escasez de agua crece afectando a un alto porcentaje de la población mundial. En Costa Rica y Latinoamérica, la urbanización aumenta aceleradamente sin tener una adecuada infraestructura de servicios públicos. Durante la época seca, el acceso al recurso hídrico se ve afectado y los mecanismos de abastecimiento utilizados, como camiones cisterna, no son accesibles para toda la población; por esto, se definió como problema una mala sistematización en la distribución del agua.

Este artículo muestra el proceso de diseño llevado a cabo para desarrollar un sistema de productos inteligentes que mejoren la distribución del agua, desde su captación hasta su transporte a casa. La funcionalidad se determinó sintetizando requerimientos definidos a partir de necesidades mostradas por amas de casa, jóvenes estudiantes y operarios del sistema de acueductos.

La morfología desarrollada respondió al concepto “integración biónica” que buscaba la manera de crear una convivencia integral del producto en su entorno y hacer cumplir sus funciones y estética a partir de propiedades biónicas. La propuesta final contempló el uso de agua pluvial como principal insumo, una configuración hexagonal como medio de estructura y autonomía por medio de procesos tecnológicos.

El diseño de productos inteligentes debe ser utilizado como herramienta de innovación en la búsqueda de soluciones a problemáticas sociales, contar con evaluaciones de impacto desde corto hasta largo plazo y garantizar una mejor calidad de vida para sus usuarios.

Palabras clave

Diseño social; diseño industrial; distribución equitativa del agua; Latinoamérica; biónica.

Abstract

Year in year out, lack of water increases affecting a high percentage of the world's population. In Costa Rica and Latin America, urbanization grows rapidly without an adequate public services infrastructure. During the dry season, the access to the hydric resource gets affected and the supplying mechanisms used, like tank trucks, are not available for all the people; for this reason, the problem was defined as a bad systematization of water distribution.

This article shows the design process executed to develop a smart product system that improves water distribution, from its harvesting until home transportation. Functionality was determined by requirements defined from needs shown by housewives, young students, and aqueduct system operators.

The developed morphology responds to the concept "bionic integration" that looks for the way to create an integral coexistence of the product in its environment and achieve its functions and aesthetics from bionic properties. The final design contemplated rain water as main intake, an hexagonal configuration as a structural base and autonomy due to technological processes.

Smart products design should be used as a tool to innovate in social problems, evaluate impact front short to long terms and guarantee a better users wellbeing.

Keywords

Social design; industrial design; equal water distribution; Latin America; bionics.

Introducción

El reto propuesto fue diseñar un producto inteligente para una ciudad inteligente. Según el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Telecomunicaciones (MICITT), existen seis componentes con sus respectivos indicadores para calificar una ciudad como una inteligente: inteligencia en gobierno, en educación, en infraestructuras y redes, inteligencia en economía, en convivencia social e inteligencia en ambiente y energía [1]. A pesar de ser una lista completa, hace falta algo esencial: acceso al agua. Una buena distribución y acceso de este recurso garantiza la reducción y propagación de enfermedades relacionadas al saneamiento y la salud, así como pone un freno a la desigualdad social e impulsa la economía.

Se llega a la conclusión de que el acceso al agua es una de las bases esenciales para construir una ciudad inteligente, como parte de un país en vías de desarrollo, los ingenieros en diseño industrial deben apuntar al mejoramiento de la sociedad, impulsando a las zonas con mayores necesidades.

Actualmente, el 40% de la población mundial presenta escasez de agua y se estima que esta cifra aumente [2]. Para el año 2050, Latinoamérica se convertirá en la segunda región más urbanizada del mundo, ubicando hasta 100 millones de personas en asentamientos irregulares bajo una deficiente infraestructura de servicios públicos [3]. Por su parte, Centroamérica cuenta en general con una elevada disponibilidad hídrica, pero el agua no llega a toda la población o lo hace sin ser de calidad [4], lo que evidencia que la gestión del recurso en la región es apenas incipiente.

En los primeros meses del año 2020, más de 320.000 personas han sido afectadas por falta de agua en la Gran Área Metropolitana (GAM) debido al déficit de lluvias por el que el país ha estado pasando. En una entrevista realizada a Roy Barboza, subgerente del sistema GAM del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), comenta que es difícil para esta entidad definir con claridad las horas en las que el agua no estará disponible, por múltiples razones, tales como el estrés y angustia de los habitantes, quienes como consecuencia guardan

agua en cualquier objeto a su disposición con tal de no verse afectados por el corte. Esto causa que los tanques del AyA se vacíen más rápido de lo previsto, provocando más horas sin este recurso y dificultando las estimaciones de los operarios del AyA con respecto a las horas de cortes. Estas situaciones ponen en evidencia la falta de comunicación y organización entre los habitantes y sus respectivas municipalidades [5].

La problemática es una mala sistematización en la distribución del agua. Por esto se propone el diseño de un sistema de productos que faciliten la distribución del agua, así como el acceso continuo y transporte en las comunidades de la GAM; el propósito es asegurar un acceso equitativo a este recurso esencial para la vida y el desarrollo de una ciudad inteligente.

Como resultado se obtuvo un sistema de productos compuesto por una estación central, encargada de la captación, purificación, almacenamiento, disposición del agua, entre otras, y un dispositivo de transporte que permitirá a los usuarios llevar el agua de la estación a sus casas de una manera sencilla. La participación activa de los usuarios incluso de manera virtual toma gran importancia al realizar el proyecto y se percibe el gran impacto que pueden tener los ingenieros en diseño industrial al involucrarse en proyectos de temática social.

Método

Para el contexto vivido en el desarrollo del proyecto (primer semestre del 2020), el mundo se encontraba en período de cuarentena debido a la pandemia del COVID-19, por lo que la metodología e instrumentos implementados en adelante fueron completamente virtuales, garantizando la salud de los estudiantes y posibles usuarios del producto.

El proceso de diseño de Kalí constó de cinco etapas: conceptualización de la idea, definición de la funcionalidad, definición de la forma, detallado de la manufactura y la simulación del diseño.

1. Conceptualización de la idea

El proyecto inició con una investigación del contexto actual y futuro sobre el acceso al agua en el país y el mundo, además, se definió como entorno de uso del producto: zonas públicas del Gran Área Metropolitana. Para tener un mayor conocimiento de la situación vivida en el área geográfica elegida, se realizaron entrevistas a personas ubicadas en los perfiles de usuario previamente definidos. La síntesis de esta información, sumada a la descrita anteriormente, facilitó la definición del problema, este fue planteado a partir de la herramienta árbol de problemas¹, donde se derivan causas y consecuencias para buscar la raíz y concretar el problema. Con la información obtenida hasta el momento, se plantearon las necesidades y requerimientos que el producto debería satisfacer buscando solucionar el problema indicado. Se

¹ Árbol de problemas: es una herramienta participativa que se utiliza para identificar los problemas principales con sus respectivas causas y efectos. Esto permite planificar y definir objetivos claros.

definió un segmento de mercado organizacional donde se encuentran instituciones encargadas de la reserva y distribución del recurso hídrico.

El conocimiento de productos que se encuentren actualmente en el mercado o en etapas conceptuales es de gran valor para evaluar ventajas y desventajas que tienen diseños ya ejecutados para solucionar las necesidades previstas. Se realizó un análisis de lo existente² para concluir sobre los temas de regulación del suministro de agua, su transporte y métodos de captación del recurso, además, tomando en cuenta que sería un producto para espacios públicos, se optó por investigar desarrollos de mobiliario urbano. Como cierre de la etapa, se formuló una lista de especificaciones, que describe las características indispensables o deseables del producto basadas en la definición de necesidades y requerimientos de los usuarios; estos fueron validados por posibles usuarios, lo que permitió jerarquizar las diferentes funciones para toma de decisiones a futuro.

2. Definición de la funcionalidad

Una vez jerarquizados los requerimientos, se procedió a elaborar un árbol de funciones. Se determinó una función principal para el sistema y mediante el modelo FAST³, se derivaron las funciones prácticas e inteligentes; entre las que destacan: captación de agua, purificación de agua, monitoreo de estado y facilidad de uso. Se eleva un énfasis en las inteligentes dado el objetivo del proyecto, y se realizó una exploración morfológica sobre las posibles soluciones para las mismas. Con la ayuda del análisis de referenciales se evaluaron aspectos funcionales, de interacción y manufactura.

En el área funcional, se buscaba definir los componentes electrónicos que ejecutarán las funciones inteligentes de los productos mediante una matriz multicriterio, que contrasta los componentes y sus especificaciones técnicas para, posteriormente, hacer la elección de los óptimos. La interacción tenía como fin explorar distintos métodos en los que los usuarios se relacionarían con el producto y este con su entorno. Como tercer punto en esta etapa, se generó un diagrama de flujo para describir el funcionamiento de los productos. Este permite evaluar de manera eficiente si se cuenta con todos los componentes necesarios para realizar cada una de las funciones.

Se definió cada uno de los productos como un sistema, detallando sus subsistemas, componentes y partes que lo componen.

² Análisis de lo existente: se utiliza con el objetivo de conocer los productos existentes que satisfacen la misma necesidad, es posible también utilizar productos similares. Esto con el fin de analizar las diferentes funciones, características de diseño y soluciones propuestas por otros productos.

³ Análisis Funcional de Sistemas Técnicos: muestra una disposición horizontal denominada dimensión “Cómo/Porqué”. Estas son las preguntas que se emplean para estructurar la lógica del sistema que constituye el producto desde el cómo se realiza y el porqué se realiza.

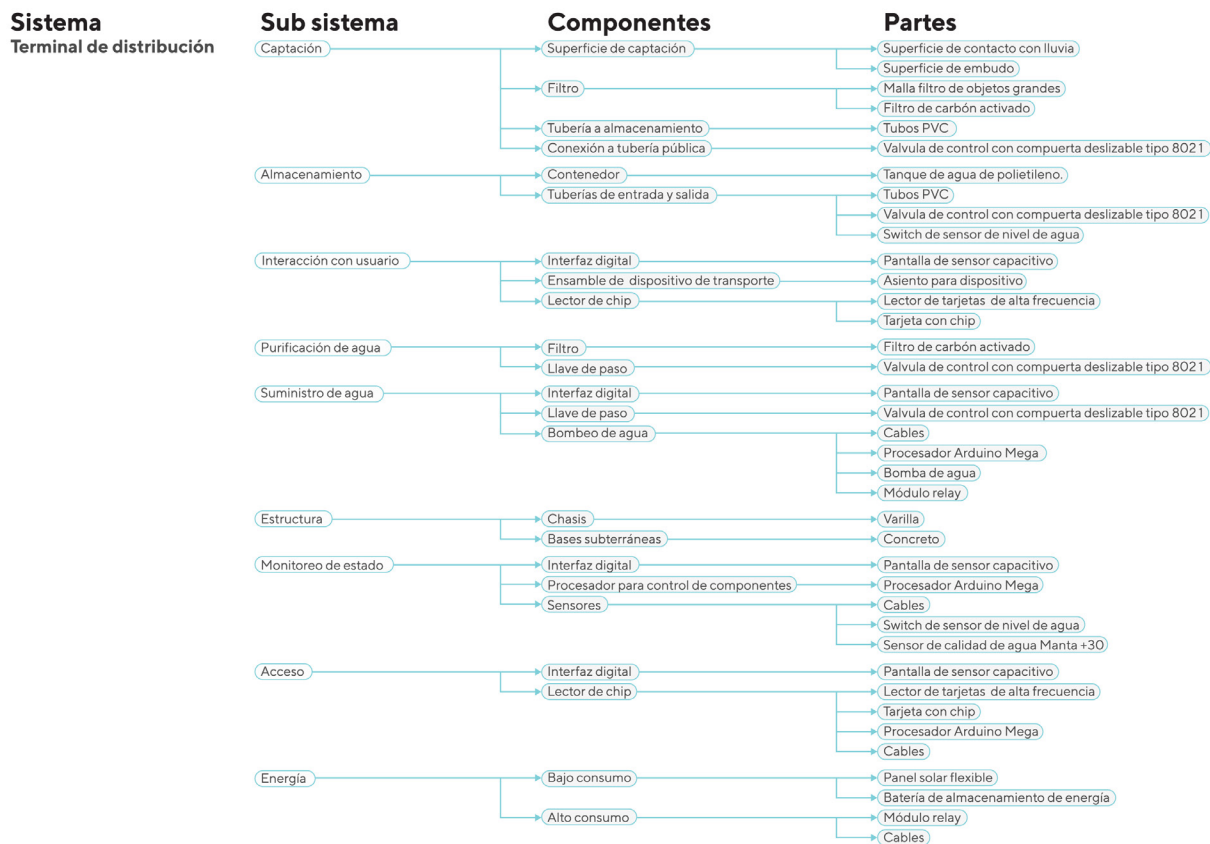


Figura 1. Estación central como sistema

Fuente. Elaboración propia, 2020

Es importante destacar que algunos de los componentes señalados en la figura 1 fueron modificados en etapas posteriores, esto debido a la constante iteración que debe existir en el proceso de diseño de cualquier producto para evaluar la mejor manera de hacer cumplir las funciones. Para iniciar las propuestas, se dibujaron los primeros bocetos, que transmiten la idea volumétrica del sistema de productos que se está desarrollando y su relación con la silueta humana. Nuevamente se realizó una validación, en este caso de las funciones inteligentes planteadas. También se abrió el espacio para recibir retroalimentación de los usuarios.

3. Definición de la forma

Esta etapa se inició definiendo el concepto de diseño, a este se le deben sumar variables que explican de qué manera se cumplía este en la propuesta. Emitir los objetivos que daban respuesta a la problemática definida al inicio del artículo, asimismo, contemplar los alcances que tendrá el proyecto. Se eligieron las “WH questions” para describir de una forma sintética todos los aspectos del sistema de productos (qué, porqué, para qué, dónde, cómo, para quién).

La ubicación de los componentes donde habrá interacción se definió basado en un análisis antropométrico parte del análisis ergonómico, donde también evaluó la disposición cognitiva de las interfaces digitales.

Para definir la perceptualidad del producto, se canalizó un cuadrante de un vocabulario visual que posteriormente fue definido como frase semántica para realizar un *moodboard*⁴ y concretar el *look and feel* del sistema. Con la perceptualidad lista, se diseñaron alternativas a nivel de boceto de alta calidad, contemplando volumen, forma y estética. Con estas se realizó una evaluación de requerimientos para elegir la propuesta final y, finalmente, se detalló la elección.

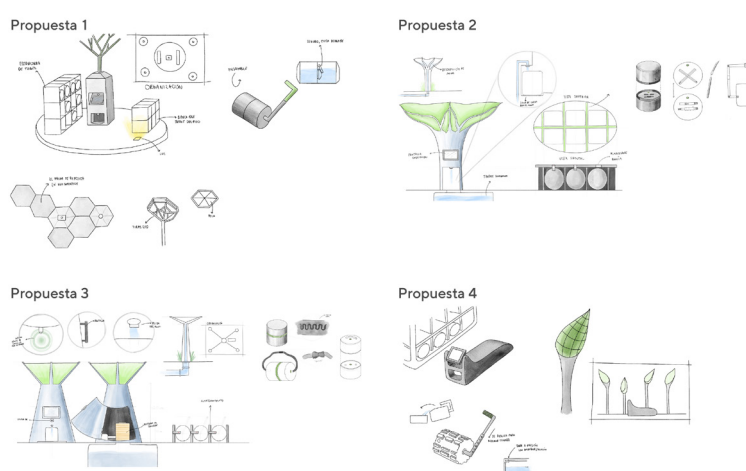


Figura 2. Diseño de alternativas
Fuente. Elaboración propia, 2020

4. Detallando la manufactura

En esta cuarta etapa se describieron las funciones que cumple el sistema, tanto prácticas como inteligentes, se continuó con una descripción de la arquitectura planteada mostrando todas las partes que componen el sistema. Se concretaron los materiales y se realizó una justificación de los mismos. Se construyeron los planos técnicos de cada una de las partes del producto que deban ser manufacturadas y se compuso la lista de los componentes normalizados y estandarizados que estarían presentes en el sistema para asegurar su funcionamiento. El uso del producto estuvo sintetizado en un manual de usuario que incluyó instalación, mantenimiento y el uso de cada uno de los productos. Finalmente se describió el proceso de manufactura de las piezas que componen el sistema y se realizó una proyección de los costos de producción de una instalación del producto.

⁴ Moodboard: consta de una combinación de imágenes, texturas, colores, materiales y conceptos que describen emociones y sentimientos que se desean en el diseño por proponer.

5. Simulación del diseño

En esta última etapa se realizó una síntesis de todo el trabajo, en la cual se incluyó: el contexto, los usuarios, el concepto, el funcionamiento, la configuración y la interacción; esto con el fin de proporcionar una idea clara de los objetivos del proyecto, así como los resultados finales. Se realizaron *renders* de alta calidad y videos simulados, estos permitieron demostrar en detalle las funciones y las interacciones presentes en el producto.

Discusión de resultados

El concepto definido en la figura 3 muestra el punto de partida para los desarrollos formales que se contemplen, además de la unión entre la funcionalidad y la estética. Durante la realización del diagrama de funciones, se notó que, para cumplir a cabalidad los requerimientos, era necesario crear un sistema de productos; se establece la estación central, dispositivos de transporte y módulos de almacenamiento, este último no fue contemplado en las últimas etapas, debido a los alcances del proyecto.

Concepto



Figura 3. Concepto y variables de diseño

Fuente. Elaboración propia, 2020

La estética del producto se definió a partir de la frase “Modernidad natural”, donde se buscaba que el sistema se integrara por su morfología simple al entorno y brindara a los usuarios el sentimiento de poder interactuar con él. La cromática se ve abarcada completamente por el tono blanco y presencia de grises, también se utilizó la forma hexagonal similar a la de panales de abeja para suplir ese sentimiento natural, todas las aristas son redondeadas para transmitir formas orgánicas.

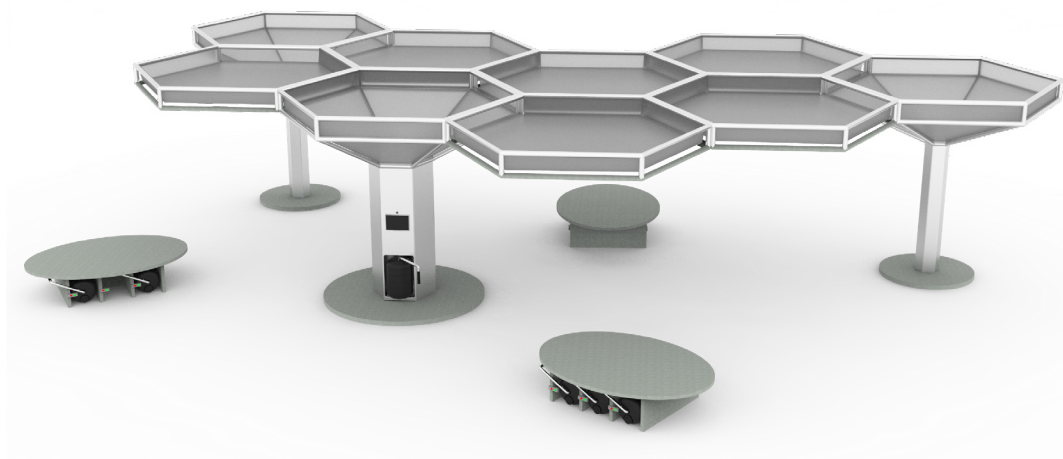


Figura 4. Sistema Kalí

Fuente. Elaboración propia, 2020

Entre los aspectos funcionales de la estación central, se contempla el aprovechamiento pluvial para obtener el agua con superficies de captación de 9 m², se aprovechó la funcionalidad estructural y morfológica de los hexágonos para generar estas superficies y crear módulos para adaptar la instalación en distintos espacios. Si el almacenamiento se encuentra lleno, permite brindar 120 L de agua diariamente a 60 familias, además, el producto puede ser utilizado durante cualquier hora del día para garantizar disponibilidad de emergencia de agua potable a cualquier usuario.

Se implementa un sistema de doble filtrado por medio de carbono comprimido para propiciar la potabilidad del agua, este garantiza la remoción tanto de residuos orgánicos como partículas sólidas inertes, además, para facilitar el monitoreo de la potabilidad del agua, se cuenta con una multiprobeta Manta 40+ que realiza muestreos de agua con el fin de evaluar presencia de organismos, nivel de pH y oxígeno, entre otros, para definir su potabilidad. Cuenta con una interfaz táctil y un lector QR que restringirá el acceso a los usuarios y las distintas funciones que se pueden realizar desde esta pantalla.

La estación centraliza sus funciones con un procesador Arduino UNO WiFi especializado para sistemas de IoT, encargado de tomar decisiones y generar las respuestas necesarias dependiendo del estado e información brindada por los sensores incorporados. Se cuenta con una boya en el tanque de almacenamiento que indicará al procesador cuáles válvulas deben estar abiertas para habilitar o cerrar el paso de agua de distintas fuentes. En caso de perderse la comunicación entre algún sensor y el procesador, este emitirá una notificación para alertar la falla al operador que realice mantenimiento, de esta manera, se fortalece el cumplimiento del objetivo de simplificar el análisis de estado de los componentes del producto.

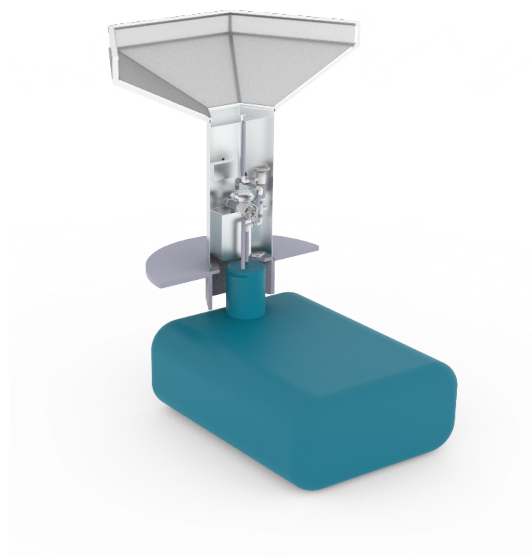


Figura 5. Corte de estación central
Fuente. Elaboración propia, 2020

El dispositivo de transporte permitirá llevar el agua de la estación a las casas de los usuarios; cuenta con una capacidad de volumen contenido de 60 L, así como un agarre con largo ajustable para adaptarse al usuario y mejorar las condiciones de empuje y halado del producto. El producto será destinado a áreas delimitadas, por lo que contará con un módulo GPS que avisará al usuario mediante un zumbador, en caso de estar saliendo de este límite. La ubicación también será transmitida al procesador ubicado en la estación central para realizar análisis de datos. El procesador Arduino Mini IoT y demás componentes están potenciados por una batería incorporada en el producto, para facilitar la carga de esta, se propone el uso de un módulo de carga inalámbrica.



Figura 6. Dispositivo de transporte
Fuente. Elaboración propia, 2020

Los procesos de manufactura que destacan en la estación central son el troquelado, doblado y soldado de piezas, repitiendo este proceso para el dispositivo de transporte y agregando el rotomoldeo para el tanque de transporte de agua.

Los sistemas de funcionamiento no fueron probados por los motivos de virtualización mencionados al inicio del artículo, sin embargo, basados en las fichas técnicas de cada uno de los componentes elegidos, se cumpliría a cabalidad cada una de sus funciones.

Los productos logran sistematizar el acceso al agua de una manera equitativa y segura, en la que se busca afianzar el sentimiento de comunidad y conciencia social, con el fin de mejorar la calidad de vida de los habitantes de la zona en períodos de emergencia.

Conclusiones

La validación, retroalimentación y recomendaciones de los usuarios son importantes durante todas las etapas de diseño, ya que ayudan a consolidar las variables de diseño planteadas y reducen la posibilidad de cometer errores al generar las alternativas de diseño.

Conociendo el impacto que podría tener una solución como Kalí en el mercado, se perciben los amplios beneficios que tiene la aplicación del diseño industrial en la solución de problemáticas sociales. En este proyecto específicamente, la implementación de un sistema inteligente para resolver el acceso equitativo al agua lograría combatir la brecha social existente en la infraestructura de servicios públicos, que continúa en aumento en las zonas urbanas de Latinoamérica.

Durante las etapas investigativas, se identificaron otros problemas sociales que claramente perjudicaban el que se decidió atacar. La falta de educación en temas de uso eficiente del recurso hídrico, desinterés comunal y la deficiente comunicación entre instituciones y pobladores, son algunos ejemplos de problemas percibidos que podrían ser resueltos bajo la ejecución de un plan de diseño estratégico que se apoye en los objetivos 6, 10 y 11 de desarrollo sostenible de la ONU, los cuales garantizan respectivamente: agua limpia y saneamiento, reducción de desigualdades y comunidades y ciudades sostenibles [6].

Como concepto de diseño se utilizó el término “biónica” que comúnmente se contempla desde lo estético, sin embargo, para este sistema de productos, se especificó más desde el punto de vista funcional, estructural y de relación con el entorno.

Finalmente, se recalca en la iteración continua, un concepto que permite adaptar el sistema conforme se avanza en el proceso de diseño; volver a etapas previas permite evaluar si lo planteado sigue funcionando, se encontró una mejor manera de hacerlo o, como en este caso, se deben cambiar componentes o materiales para cumplir satisfactoriamente las funciones.

Reconocimiento

Este proyecto no se habría logrado concretar de no ser por la guía del profesor IDI. Luis Carlos Araya Rojas, quien logró adaptar pedagógicamente el curso: Diseño V, a un contexto pandémico, sin que se vieran totalmente perjudicados los alcances del proyecto e interés de los estudiantes. Le agradecemos por su alto desempeño docente, en el que mantuvo una postura de respeto y cercanía en cada una de las etapas.

Referencias

- [1] Ministerio de Ciencia, Tecnología y Telecomunicaciones Costa Rica. "Índice de Ciudades Inteligentes, 2016" Disponible en: <https://www.micit.go.cr/sites/default/files/informe-ici-2016-pdf.pdf>
- [2] Gobierno de la republica de Costa Rica y ONU (2020). Objetivo 6 Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos. Disponible: <http://ods.cr/objetivo/objetivo-6>.
- [3] D. Arguedas, "Las ciudades, protagonistas ante cambio climático en América Latina," Inter Press Service, pp. n/a, 2017. Disponible en: <https://search-proquest-com.ezproxy.itcr.ac.cr/docview/1929685311?accountid=27651>.
- [4] G. Ferullo y F. Agrana, "En Centroamérica la gestión del agua es un asunto que apenas está comenzado: CENTROAMÉRICA DÍA AGUA," EFE News Service, pp. n/a, 2019. Disponible en: <https://search-proquest-com.ezproxy.itcr.ac.cr/docview/2195272345?accountid=27651>.
- [5] K. Zúñiga, "Más de 67 mil personas afectadas por falta de agua," 2020. Disponible en: <https://www.multimedios.cr/nacional/mas-de-67-mil-personas-afectadas-por-falta-de-agua>.
- [6] Organización de las Naciones Unidas. "Objetivos de Desarrollo Sostenible". Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>



Diseño piloto de sistema de productos inteligentes para aumentar la sensación de seguridad en las calles de Costa Rica


Pilot Smart Product Design to increase the sensation of safeness in the streets of Costa Rica


Mónica I. González-Sosa¹, Jose P. Corella-Vargas²

M.I. González-Sosa, J.P. Corella-Vargas, "Diseño piloto de sistema de productos inteligentes para aumentar la sensación de seguridad en las calles de Costa Rica", *IDI+*, vol. 3, no 2, Ene., pp. 16-30, 2021.

 <https://www.doi.org/10.18845/ridip.v3i2.5563>

Fecha de recepción: 5 de agosto de 2020
Fecha de aprobación: 6 de octubre de 2020

1. Mónica I. González-Sosa
Estudiante de Ingeniería en Diseño Industrial
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Cartago, Costa Rica
717mgs@gmail.com
 0000-0001-6853-4146

2. Jose P. Corella-Vargas
Estudiante de Ingeniería en Diseño Industrial
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Cartago, Costa Rica
jpcorella97@gmail.com
 0000-0002-1553-2355

Resumen

En el contexto nacional y mundial, se observa muchísima inseguridad en las calles. Desde asaltos hasta secuestros, estos eventos suceden con mucha frecuencia y la mayoría de las veces las personas no tienen cómo alertar o prevenir la situación. Después de meses de ver las mismas noticias en los periódicos, se decidió desarrollar un conjunto de productos inteligentes para mejorar la situación.

Se analizó el mercado para definir la necesidad más importante de todas: poder alertar a los seres queridos y autoridades a la hora de un asalto u otra experiencia similar. A partir de esto, se desarrolló un diseño de producto con la metodología de diseñar el objeto de adentro hacia afuera. Por medio de modelado y simulaciones en 3D, se conceptualizó un conjunto de productos inteligentes para satisfacer la necesidad principal y brindarles a los usuarios una herramienta de apoyo para la situación de la inseguridad. Los productos propuestos pueden generar una nueva sensación al caminar por las calles, además de apoyar el sentido de comunidad en las personas para este tipo de casos, ya que la aplicación funciona de mejor manera si los usuarios del producto le aportan información de las calles.

Aunque el vandalismo en las calles no desaparecerá, es una manera de lograr que las personas se sientan un poco más seguras al transitar por ellas, al ser conscientes de que sus seres queridos pueden saber dónde están y si están bien, en caso de que pase algo como un asalto o secuestro. Con este diseño se propone darle un nuevo rumbo al diseño, contemplando los problemas más importantes en la actualidad.

Palabras clave

Inseguridad; diseño industrial; asalto; mobiliario urbano; producto inteligente.

Abstract

In the national and worldwide context a lack of safety is evident in the streets. From assaults to kidnaps, these events happen frequently and the great majority of times people have no ways to notify or prevent the situation. After months of repeatedly having the same articles showing up in the newspapers, the idea of developing two smart products to combat this problem was born.

Through a market study the most important need came to light: being able to notify contacts and authorities in case of an assault or any other similar experience in the streets.

The alternatives for the product were developed after defining a design concept to guide the project. The final products were designed based in the context of a "smart city". Through 3D modeling and simulations, a set of two smart products were conceived to satisfy the main need

that was previously defined and provide the users a tool to reduce the feeling of unease and insecurity in the streets.

Five main stages were followed to completely know and understand principal aspects of the design, such as context, aesthetics, design concept, manufacturing process, etc. Through the exploration it was possible to develop two smart products, a street product and a personal object, validated through renders, to increase the sensation of safety in the streets of Costa Rica.

Keywords

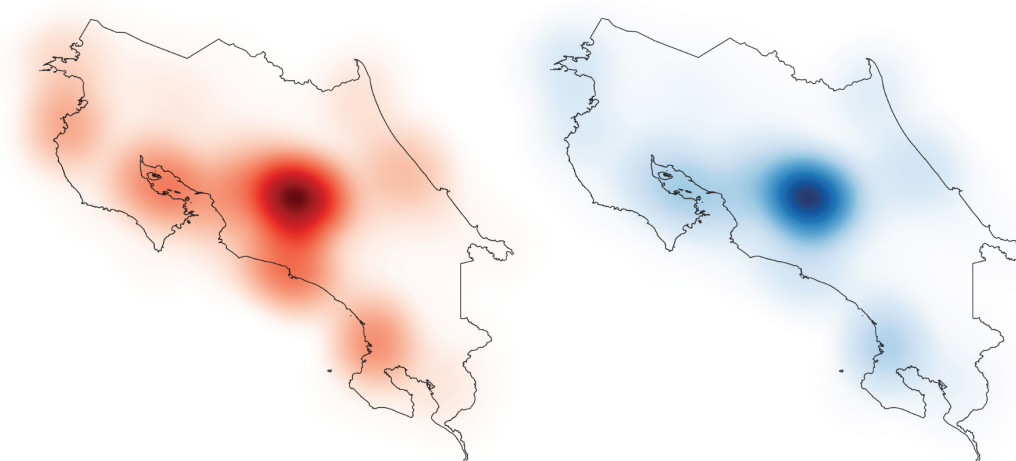
Street safety; industrial design; assault; urban mobiliary; smart product.

Introducción

En el 2020, se ha visto un incremento en asaltos, femicidios, violaciones, entre otros sucesos que ocurren en las calles. Actualmente, hay un promedio de 25 asaltos por día en el país [1]. Lo cual se ha convertido en un evento tan común que ha ido incrementando el miedo de un 82.9% de las personas cuando transitan por las calles, según una encuesta propia aplicada a 217 personas.

Según un estudio realizado por Juan Diego García Castro y Marianela Villalobos Ulate de la Universidad de Costa Rica, en una encuesta aplicada a distintos países, se descubrió que el problema más importante de las viviendas de las personas es la inseguridad. Además, en Costa Rica se pudo observar que el mayor problema es la delincuencia [2].

Actualmente, en Costa Rica existe un aproximado de 1,336,681 mujeres y 1,240,000 hombres entre 15 y 50 años [3]. De ellos, el 60% vive en la Gran Área Metropolitana (GAM), que es precisamente el epicentro de violaciones y asaltos en el país, como se muestra en la figura 1 [4]. En los mapas se puede observar, a la izquierda, de color rojo, el mapa de calor de violaciones y en el lado izquierdo con color azul, el mapa de calor de asaltos. Es muy utópico hablar de una ciudad donde no exista delincuencia, por lo que el producto por diseñar no pretende eliminar la violencia en la calle. Sin embargo, se propone mantener al usuario informado sobre la situación de los alrededores para que esté seguro.



*Mapas de calor extraídos del Observatorio de Justicia

Figura 1. Mapa de Calor de Violencia en Costa Rica

Fuente. Observatorio de la Justicia, 2019

Actualmente, existen productos para alertar a contactos de emergencia en caso de peligro. Los productos actuales se segmentan en tres categorías: objetos portátiles de alerta, objetos para defensa personal y aplicaciones móviles. Los objetos portátiles de alerta únicamente funcionan con conexión al celular, lo cual es una gran desventaja, ya que, si al usuario le roban el celular, dicho objeto se vuelve inútil. Esto mismo ocurre con las aplicaciones móviles.

En cuanto a los productos de autodefensa, estos son efectivos únicamente si la persona sabe cómo utilizarlos de manera correcta y sabe reaccionar en el momento, por lo que no son aptos para la mayoría. Sin embargo, estos productos no ofrecen maneras de prevenir la situación (como, por ejemplo, recomendando al usuario que no transite en ciertas calles) y se convierten en inútiles si se despegan del celular. Por esto, esos productos cumplen solamente la necesidad de alertar a seres queridos en caso de peligro, pero no permiten seguir funcionando sin el celular o continuar la comunicación con los seres queridos a quienes se alertó.

El objetivo general de la investigación es diseñar un sistema inteligente que contribuya a generar una sensación de seguridad en el usuario al caminar solo(a) en las calles. Como objetivos específicos, se propone notificar emergencias a seres queridos de manera sencilla, notificar a peatones el estado de seguridad de diferentes zonas y poder monitorear asaltos para obtener reportes precisos. Además, dado que se desarrolla en modalidad virtual, se propone generar una buena simulación que demuestre el impacto del producto, a través de un concepto amplio y trabajado como solución al problema planteado.

Metodología

Para el desarrollo del proyecto se empleó una metodología de diseñar el objeto de adentro hacia afuera. En otras palabras, primeramente, se hizo la conceptualización de la idea para luego definir la funcionalidad y forma a partir de la misma. A continuación, se pueden observar las fases del proyecto y lo que se exploró en cada una de ellas.

1. Conceptualización de la idea

En este paso se exploró a fondo la problemática de la inseguridad en las calles. Pasó de ser una idea inicial a una idea con trasfondo, ya que, cuando se investigó más acerca del problema, se notó una gran importancia del mismo, debido a que, en promedio, hay 175 asaltos por semana en Costa Rica [1]. Se descubrió que el problema era de gran peso, por lo que valía la pena explorar maneras de disminuir el sentimiento de inseguridad en las calles.

Se hizo un estimado del posible mercado para descubrir si realmente sería un producto que ayudaría a muchas personas. Este cálculo, observado en la Figura 2, se hizo a partir del Método de Ratio Sucesivo y reveló que existe un mercado potencial de 1,129,144 personas. Este método toma en cuenta el universo del estudio y el porcentaje de personas que podrían adquirir el producto con base en encuestas de elaboración propia. Una vez establecidos, se aplica la fórmula mostrada en la Figura 2.

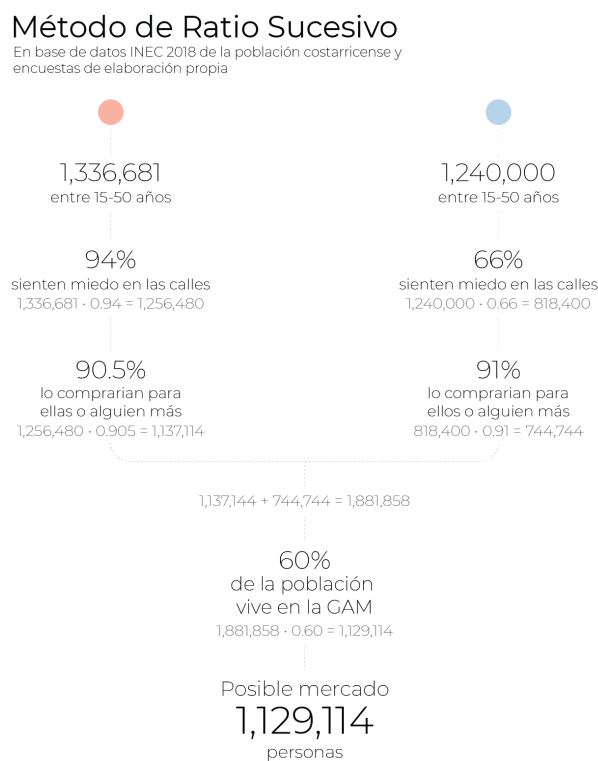


Figura 2. Cálculo de mercado por medio del Método de Ratio Sucesivo

Fuente. Elaboración Propia, 2020.

En su mayoría, se utilizaron encuestas en Instagram, con dos posibles respuestas, esto para obtener más participación por parte de las personas, ya que es la manera más sencilla para que participen en este tipo de encuestas. También se crearon entrevistas (observadas en el inicio del video [6]) para conocer más a fondo la sensación de las personas en los diferentes escenarios. Se tomó la decisión de realizar entrevistas a diferentes tipos de personas: personas nunca asaltadas y previamente asaltadas. Esto con el fin de conocer más a profundidad los efectos psicológicos de la inseguridad en las calles sobre las personas y evidenciar mejor la necesidad de resolver el problema.

De acuerdo con esto, se definieron dos usuarios principales por tomar en cuenta en la realización del proyecto. Se aplicaron entrevistas a personas que calzaban con el perfil definido de los usuarios para empatizar más con ellas. A partir de estas entrevistas, se revelaron las necesidades principales de los usuarios y se pudo delimitar un objetivo principal del producto.

Se realizó un análisis de referenciales para conocer qué productos o servicios existen que cumplan una función similar a la del producto desarrollado, esto porque es necesario conocer qué existe en el mercado y así buscar una manera para mejorar y diferenciarse de los productos existentes.

También se buscó conocer de qué manera estos productos resolvían las distintas necesidades, la interacción con los usuarios de cada uno, cómo se manejaba conceptualmente cada proyecto, materiales utilizados, entre otras características que fueron tomadas para las distintas soluciones propuestas.

2. Definiendo la funcionalidad

Este paso fue de suma importancia para el desarrollo del proyecto, debido a que se siguió el diseño desde “adentro hacia afuera”. Se definió la funcionalidad de manera detallada a través de diagramas de funciones y diagramas de flujo, para entender de qué manera funciona el producto. Además, el análisis de las funciones permitió visualizar de manera clara las partes que serían necesarias para el producto, con el fin de contemplarlas a la hora de diseñar. En este punto, se definió que un solo producto no podría satisfacer las necesidades del usuario de manera óptima, por lo que se decidió hacer un conjunto de productos: uno de ciudad (Totem) y otro personal (Totem Mini).

Al tener una visualización de las funciones, se procedió a realizar una investigación tecnológica para tener en mente las funcionalidades posibles a nivel electrónico. También se realizaron bocetos volumétricos para empezar a darle vida al objeto, cuya función sería hacer encuestas rápidas a usuarios para verificar que se entendiera cómo funciona.

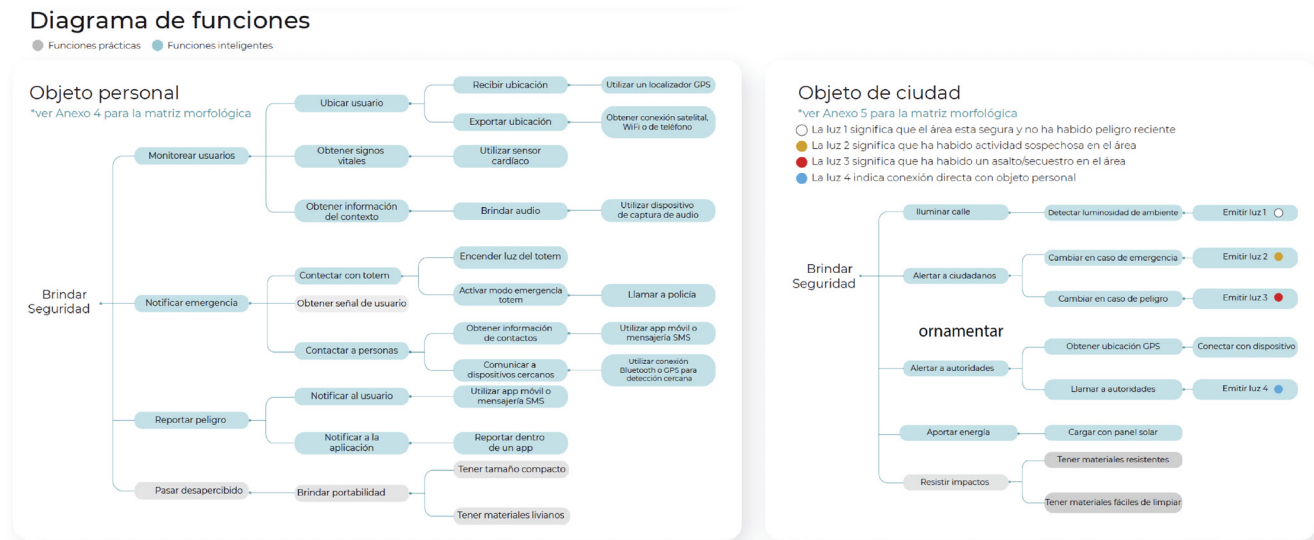


Figura 3. Diagrama de funciones de Totem y Totem Mini

Fuente. Elaboración Propia, 2020

La etapa *Definiendo la funcionalidad* fue crucial para el diseño de los productos porque brindó un punto de partida para el diseño. Se puede observar en la Figura 3, el diagrama de funciones y la definición del producto como sistema para Totem y el Totem Mini, en las que queda claro por qué es necesario implementar dos productos, en vez de uno solo. En esta fase se definieron flujogramas muy detallados para también tomar en cuenta la interacción con el objeto. Además, la definición de sistemas y subsistemas permitió visualizar el producto a nivel volumétrico, proporcionando una guía clara para diseñar.

3. Definiendo la forma

En esta etapa se definió el concepto de diseño para el producto junto con sus parámetros, objetivos generales y específicos del objeto, alcances, expectativas y “WWWWWH” (*what, why, when, who, where, how*), con el fin de tener un punto de partida para el diseño de los productos. Tomando en cuenta todos los parámetros del concepto de diseño establecido, se realizó un análisis perceptual a partir de un eje semántico, *moodboards* y matrices cromáticas. Una vez que se realizó ese estudio, se procedió a realizar varios bocetos de los productos. A partir de los bocetos generados, se realizó una matriz de toma de decisiones para evaluar cuál de las propuestas cumplía mejor con el concepto y con los requerimientos definidos en la etapa 2.

Una vez seleccionada una propuesta final, se procedió a detallarla de acuerdo con la perceptibilidad definida. Es muy importante mencionar que el diseño se realizó con base en el diagrama de funciones realizado anteriormente para tener una guía clara de los elementos que debería llevar el producto.

En este punto comenzó un proceso iterativo de mejora de la propuesta y validarla a través del concepto de diseño y los usuarios. Después de hacer validaciones por medio de usuarios que calzaban con el público meta, se hicieron cambios al producto hasta llegar a una forma y perceptualidad final.

4. Detallando la manufactura

Debido a la modalidad virtual en la que se diseñó el objeto debido al COVID-19, se detalló la manufactura del producto como si fuese a realizarse en la vida real. En esta fase se exploraron los mejores materiales para utilizar y la manufactura tomando en cuenta calidad, costos y acabado. En este punto, se contemplaron en todo momento las funciones definidas previamente para poder desarrollar un producto funcional y estético con un proceso de manufactura óptimo (Figura 4).

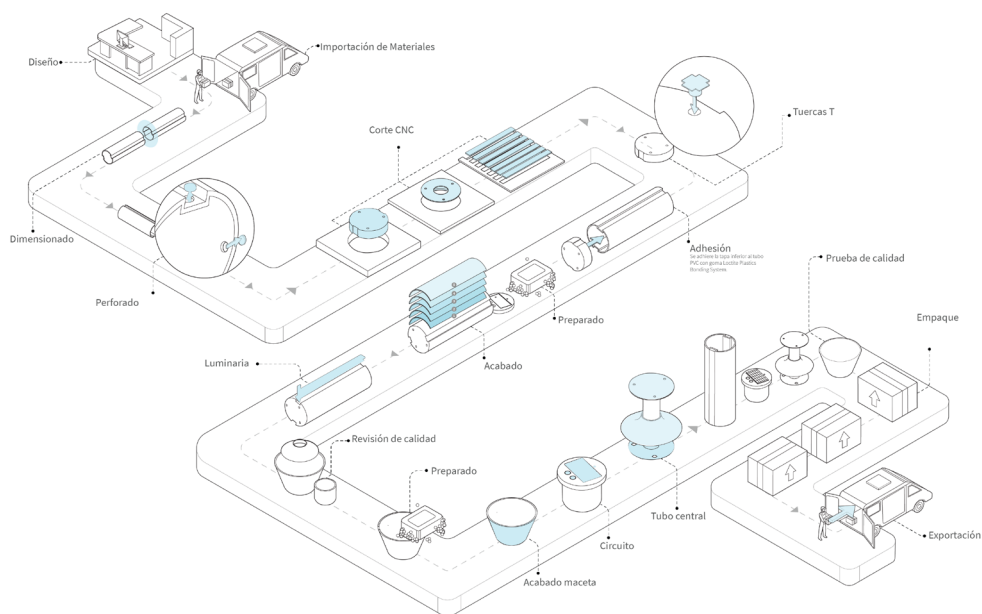


Figura 4. Proceso de Manufactura de Totem

Fuente. Elaboración Propia, 2020

También se definieron los procesos de manufactura para ambos productos, tomando en cuenta un escenario en el que los productos se fueran a producir en masa. Se realizó una investigación extensa para llegar a los materiales óptimos para los productos hablando con profesores y profesionales en el área (Figura 5).



Figura 5. Exploro de productos con detalle de componentes electrónicos

Fuente. Elaboración Propia, 2020

Además, se generaron las guías de uso para indicar a los usuarios la manera en que se debe utilizar el objeto. Es importante contemplar esta parte dentro del diseño, ya que la instalación e interacción influencia grandemente el diseño del producto y puede diferenciar un buen diseño de uno excelente. Adicionalmente, se diseñó un *app* para configurar el Totem Mini con información del usuario, contactos de emergencia y zonas seguras. Al mismo tiempo, este *app* puede mostrar un mapa de calor indicando el estado de cada Totem y, por ende, el estado de seguridad de cada calle.

5. Simulación del diseño

Para la fase final del producto, debido a la imposibilidad de hacer validaciones de usuario por la pandemia mundial, se aplicó una serie de simulaciones del diseño para visualizarlo lo más cercano a la realidad. Se realizó una serie de *renders* de muy alta calidad en el *software* Keyshot para simular el *look and feel* del objeto junto con su funcionalidad. Además, se creó un video explicativo con el fin de resumir todos los aspectos definidos en la etapa 4 y que cualquier persona pudiera ver y entender el funcionamiento del producto.

Discusión de resultados

Todas las etapas fueron esenciales para un diseño integral del producto. Luego de realizar cada fase, se pudo obtener hallazgos de suma importancia para el desarrollo óptimo de los productos.

A partir de una investigación de contexto, se definieron los dos usuarios principales para el proyecto: mujeres y hombres entre 15 y 50 años, cuyo principal método de transporte es a pie y en transporte público, ya que son las personas que más experimentan asaltos. Las

entrevistas realizadas revelaron las principales necesidades de estas personas: autodefensa, reaccionar fácilmente bajo presión, así como alertar a personas cercanas y seres queridos en caso de emergencia. Se eliminó la posibilidad de diseñar un producto de autodefensa, debido a que es un paso muy riesgoso dentro de un asalto, por lo que se centralizó el proyecto en poder reaccionar fácilmente y alertar a otras personas. Se inició pensando que el problema por resolver era la violencia en las calles. Sin embargo, con la investigación de contexto se logró descubrir las necesidades esenciales de las personas que se resumen en poder caminar por las calles sin sentirse inseguros o inseguras.

Para el diseño de Totem, se tomó en consideración un concepto de seguridad versátil por medio de los parámetros de estética, percepción, comunicación, inteligencia y configuración. Partiendo de este concepto, se podría realizar un producto que cumpliera no solamente con las necesidades “obvias” del usuario, como llamar a contactos y poder alertar, sino también las necesidades más psicológicas, como sentir seguridad emitida por la estética del producto, por ejemplo. Estas necesidades psicológicas se pudieron traducir a un elemento tangible a través de un análisis morfológico de objetos que se consideran como “seguros” (Figura 6).

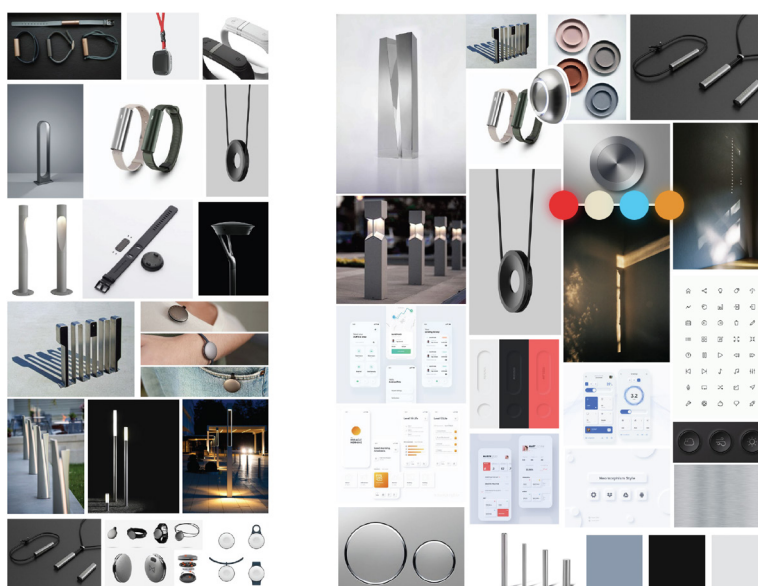


Figura 6. Frase semántica y *moodboard*

Fuente. Elaboración Propia, 2020

El proyecto comenzó con una población llena de miedo en su día a día (validado por encuestas realizadas). Una vez que se diseñó el proyecto, se pudo validar por medio de una encuesta realizada mediante Instagram a 127 personas que, al utilizar el producto, incrementaría el sentimiento de seguridad en las calles. Es importante reconocer que aún existe un porcentaje que no ve este cambio. Sin embargo, se necesitaría una validación más precisa y presencial para poder validar la eficacia del producto con certeza.

¿Cómo Totem resuelve la problemática?

Es muy utópico hablar de una sociedad donde no exista maldad. Por lo tanto, Totem no plantea eliminar esto, sino alertar a los peatones para prevenir que eventos de este tipo ocurran, al ser evitados. Además, Totem no solamente funciona para las personas que tienen el Totem Mini, sino para todos los peatones que transiten en un lugar. Alimentando una base de datos con alertas generadas por usuarios de Totem mini, los Totem podrán actualizarse en tiempo real para indicar el estado de seguridad de una calle en el momento que un peatón la transita. De este modo, si un peatón ve que una ruta tiene Totems rojos o naranjas, podrá evitarla o transitarla de manera más cautelosa.

Por su parte, Totem Mini pretende, además de alimentar la base de datos, darles la posibilidad a las personas de notificar a sus seres queridos y autoridades en caso de emergencia. De este modo, si ocurre un secuestro, tendrán la ubicación real en todo momento. O si, por ejemplo, ocurre un asalto y la persona queda sin su celular, puede dirigirse a un Totem para enviar su ubicación real a usuarios de confianza que la puedan ayudar.

La planta de Totem (ver Figura 7) podrá parecer un simple elemento estético. Sin embargo, se coloca con el fin de brindar más tranquilidad [4] en el usuario, en caso de haber sido asaltado y acudir a Totem para llamar a seres queridos. De esta manera, combinado con la luz azul [6] que emite el Totem cuando detecta conexión, el usuario tendrá estímulos relajantes para ayudarle a mejorar su estado de ánimo.



Figura 7. Simulación 3D de Totem

Fuente. Elaboración Propia, 2020

Como se mencionó anteriormente, Totem puede comunicar a los peatones el estado de seguridad de una calle, mientras Totem Mini puede indicarle de manera directa a los usuarios a través de luces. Una luz anaranjada indica actividad sospechosa en la zona en las últimas 4 horas, notificando a los peatones que probablemente hay personas sospechosas en la zona. Una luz roja indica que hubo un asalto en las últimas 2 horas en la zona, indicando que el asaltante podría seguir cerca. Una luz azul indica conexión con el Totem Mini para darle una señal al usuario de que la conexión con el Totem Mini fue exitosa. Por último, una luz blanca, además de iluminar la calle, indica una zona segura donde no ha habido reportes recientes.

Es importante mencionar que se requiere de un Totem Mini para interactuar con el Totem, con el fin de prevenir reportes erróneos y procurar reportes auténticos. Además, se requiere de un Totem Mini para que el Totem obtenga una base de datos de contactos a quienes llamar.

Hallazgos técnicos

Al definir la manufactura de los objetos, es importante mencionar la importancia de investigar todas las opciones disponibles de material. Al inicio se planteó construir la estructura primaria del objeto principal de acero inoxidable. Sin embargo, al plantear este material de manera precipitada, no se tomaron en cuenta factores como el peso, el costo del material y el costo de producción. Luego de hacer la investigación de la etapa 4, se decidió reemplazar el material por PVC con dióxido de titanio, que resiste impactos y al clima. Adicional al PVC, se definió el uso de HDPE para piezas secundarias del Totem y sí se mantuvo el uso de aluminio, pero únicamente para la barra central que estaría en contacto con la planta. De esta manera, se preservaría la resistencia mientras se reducen los costos y se simplifican los procesos de manufactura.

Además, el uso de PVC, que es mucho más liviano, permite una instalación más sencilla debido al peso reducido. La instalación del Totem se puede observar en la Figura 8.



Figura 8. Manual de instalación para Totem

Fuente. Elaboración Propia, 2020

Para Totem Mini se definió el uso de ABS por su alta resistencia a impactos, ya que, al ser un objeto portátil, probablemente sufra impactos. Para los difusores de luz, se seleccionaron láminas de PP (Polipropileno) debido a la difusión efectiva de la luz y su resistencia.

Un factor interesante en cuanto a la investigación morfológica que debía tener Totem Mini fue la posibilidad de disimular el objeto para que, en caso de ser asaltado, el asaltante no lo robe. Por eso, Totem Mini cuenta con piezas adicionales de hule de silicón para adaptar Totem Mini en forma de llavero, collar, pulsera, o bien andarlo suelto para llevarlo en el bolsillo (Ver Figura 9). También, se propuso una textura mate para prevenir que, al emitir una luz de alerta, llamara mucho la atención. Otro detalle importante de Totem Mini es la curvatura leve que lleva. Esto no solo permite una mejor visualización de la luz de alerta, sino que también mejora la visibilidad de la luz, en caso de estar en un ambiente muy claro, generando una leve sombra interna para que la luz pueda reflejarse.

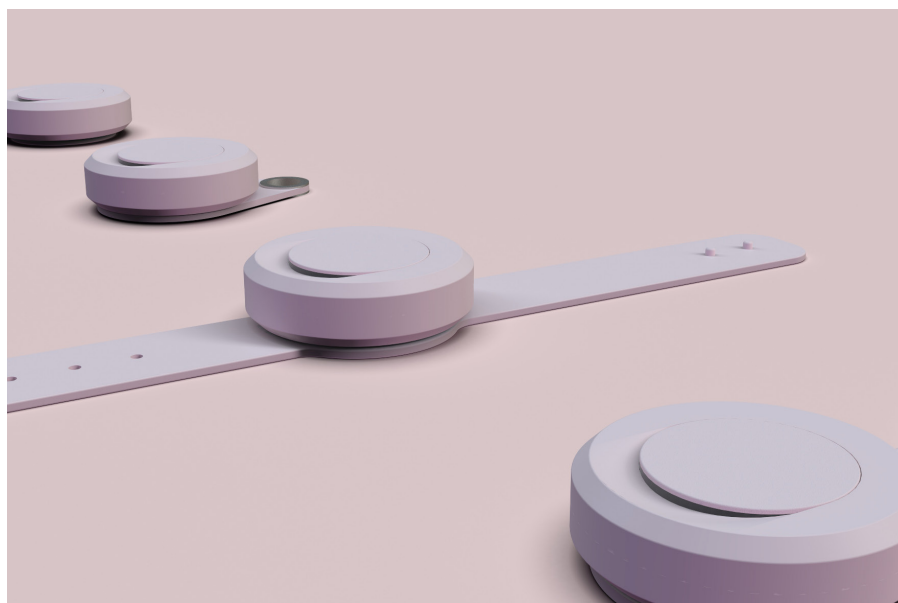


Figura 9. Simulación 3D de Totem Mini

Fuente. Elaboración Propia, 2020.

Uso del Totem Mini y Totem

A continuación, se puede observar una parte del resultado final, que se profundiza en el video citado [6].

guía de uso totem mini

¿qué viene en la caja?



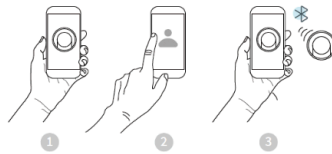
Señalización

El Totem Mini notificará al usuario en 4 ocasiones por medio de una vibración y una luz discreta. Los tipos de luz son los siguientes:

- alerta**
El modo alerta se enciende para indicar que esta entrando en una zona donde se ha reportado actividad sospechosa en las últimas 4 horas.
- emergencia**
El modo emergencia es cuando se esta entrando a una zona roja, donde se ha reportado un asalto en las últimas 2 horas.
- conexión**
Este modo se enciende cuando se detecta una conexión con el Totem, para indicar que la conexión esta activa.
- batería baja**
Cuando el Totem Mini tenga la batería baja se prenderá una luz blanca que parpadeará repetidamente para recordar al usuario que cargue el Totem Mini.

Instalación inicial

- 1 Descargar el app de Totem Mini al celular
- 2 Ingresar datos personales (contactos de emergencia, zonas verdes, preferencia de uso)
- 3 Sincronizar Totem Mini con el app por medio de Bluetooth



Poner accesorio

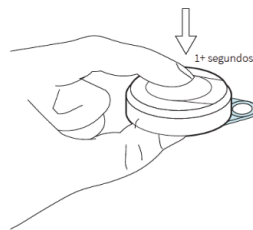


Remover accesorio

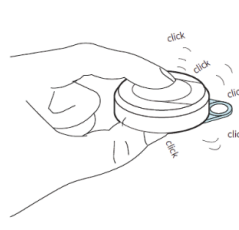


Uso en la calle

En caso de sospecha
Presionar el botón por más de 1 segundo para activar sospecha



En caso de emergencia
Presionar el botón más de 2 veces rápidamente para indicar emergencia



En caso de asalto
Dirigirse al bolardo más cercano y acercar Totem Mini para iniciar conexión

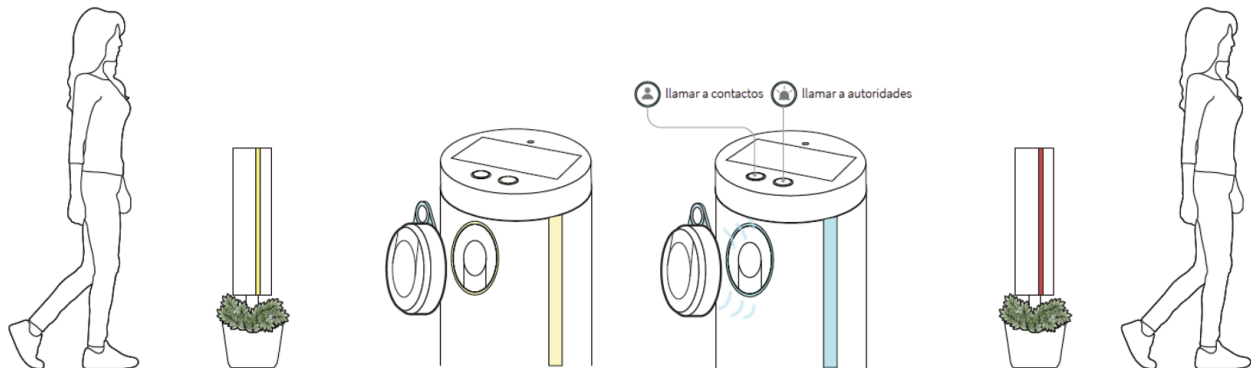
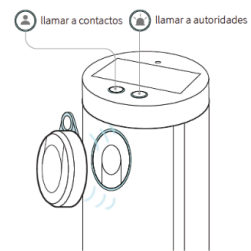


Figura 10. Uso del Totem mini y Totem.

Fuente. Elaboración propia.

Conclusiones

Este proyecto y sus diferentes pasos revelaron, principalmente, que se debe indagar más allá de la superficie para obtener un diseño realmente efectivo. El hecho de analizar el problema a fondo desde el inicio del proyecto permitió generar un objetivo claro para el desarrollo del mismo.

Desarrollar el producto de manera remota permitió concentrarse en las funciones principales del objeto. Sin embargo, como aspectos por mejorar, se considera que, para aumentar la inteligencia del Totem, se podría implementar un sistema de riego automatizado para las plantas, con el fin de poder seleccionar una variedad de planta que requiera riego controlado y pueda aportar aún más al medio ambiente.

Este proyecto demuestra cómo es posible atacar diferentes problemáticas desde puntos de vista diferentes. Una persona podría pensar que la solución más simple para la inseguridad en las calles es posiblemente aumentar la cantidad de policías en las calles o atrapar a los asaltantes. Sin embargo, esa idea es sumamente utópica e irreal. En su lugar, con este proyecto se pudo buscar un nuevo punto de vista, mezclando la realidad con una situación de seguridad en las calles un poco mejor que la actual.

El resultado de las etapas utilizadas para el desarrollo del producto fue un diseño integral y funcional, dirigido a los usuarios para satisfacer su necesidad de sentir más seguridad caminando por las calles. Además, con este proyecto se pudo observar cómo los productos y la electrónica viven cada día más en sintonía para crear productos inteligentes. En la modernidad ese podría ser el nuevo rumbo del diseño de productos.

Referencias

- [1] Observatorio de la Violencia. Mapas. Disponible: <http://observatorio.mj.go.cr/recursos/mapas>.
- [2] J. D. García Castro and M. Villalobos Ulate, "¿Vivimos en un lugar seguro? Percepción de criminalidad en la zona de Occidente," Revista Pensamiento Actual, 2016. Disponible: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/pensamiento-actual/article/view/27441>.
- [3] INEC - Costa Rica "Costa rica en cifras". Disponible: <https://www.inec.cr/sites/default/files/documetos-biblioteca-virtual/recostraricaencifras2018.pdf>
- [4] OIJ - Costa Rica. Estadísticas Policiales del OIJ. Disponible: <https://pjenlinea3.poder-judicial.go.cr/estadisticasoij/>.
- [5] Charles A. Lewis, The meaning of plants in our lives, Green Nature Human Nature, 1996. Disponible: https://books.google.es/books?hl=en&lr=&id=ymAymj0G3QQC&oi=fnd&pg=PP13&dq=plants+relax+people&ots=0G0Nmhx8oB&sig=ds8ks6Z940KSQI0NiE-j7U_G_L4#v=onepage&q=plants%20relax%20people&f=false
- [6] Corella J., González M., Totem: diseño de productos para ciudades inteligentes Disponible: <https://www.youtube.com/watch?v=WQK0VF6v8Vo>
- [7] F. Birren, Color Psychology and Color Therapy; A Factual Study of the Influence of Color on Human Life. Hauraki Publishing, 2016.



Desarrollo de un bioimpedancímetro portable para pacientes con enfermedad renal crónica y deportistas de alto rendimiento

Development of a portable bioimpedance monitor system for Chronic Kidney Disease Patients and high performance athletes

Andrés Felipe Pineda-Alpizar¹, Federico González-Camacho², Javier Reina-Tosina³, David Naranjo-Hernández⁴, Gerardo Barbarov-Rostán⁵

A.F. Pineda-Alpizar, F. González-Camacho, J. Reina-Tosina, D. Naranjo-Hernández, G. Barbarov-Rostán "Diseño industrial y desarrollo de un bioimpedancímetro portable", *IDI+*, vol. 3, no 2, Ene., pp. 31-45, 2021.


 <https://www.doi.org/10.18845/ridip.v3i2.5564>


Fecha de recepción: 20 de febrero de 2020

Fecha de aprobación: 10 de noviembre de 2020

1. Andrés Felipe Pineda-Alpizar
Estudiante de Ingeniería en Diseño Industrial.
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Cartago, Costa Rica
fpineda147@outlook.com
 0000-0003-2095-6926

2. Federico González-Camacho
Escuela de Diseño Industrial.
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Cartago, Costa Rica
fgonzalez@tec.ac.cr
 0000-0002-0180-1585

3. Javier Reina-Tosina
Grupo de Ingeniería Biomédica, Escuela
Técnica de Ingeniería, Universidad de Sevilla
Sevilla, España
jreina@us.es
 0000-0002-6853-4899

4. David Naranjo-Hernández
Grupo de Ingeniería Biomédica, Escuela
Técnica de Ingeniería, Universidad de Sevilla
Sevilla, España
dnaranjo@us.es
 0000-0002-7636-2855

5. Gerardo Barbarov-Rostán
Grupo de Ingeniería Biomédica, Escuela
Técnica de Ingeniería, Universidad de Sevilla
Sevilla, España
gbarbarov@gmail.com
 0000-0003-4383-9394

Resumen

El presente artículo da cuenta de la investigación para la innovación, diseño y desarrollo industrial de un dispositivo médico portable que obtiene datos relevantes de la bioimpedancia humana con precisión clínica, desarrollado en el Grupo de Ingeniería Biomédica de la Universidad de Sevilla en conjunto con el Tecnológico de Costa Rica para su diseño industrial. Los sistemas de bioimpedancia son una saliente novedosa en el campo de la e-salud, sin embargo, el incremento de la expectativa de vida y la inclusión de tecnología de monitoreo en aplicaciones deportivas han aumentado la necesidad de dispositivos médicos más portables, precisos y comerciables a nivel masivo, con el objetivo de empoderar al usuario sobre su situación médica. El método utilizado fue una investigación cualitativa centrada en el usuario mediante una metodología guía desarrollada por el autor, el modelo Divergente-Convergente Proyectual (DGC) centrado en el usuario. Los hallazgos más importantes fueron el diseño novedoso de un bioimpedancímetro portable para pacientes con afecciones renales crónicas y deportistas de alto rendimiento, así como el uso de una metodología novedosa para el desarrollo de productos médicos portables.

Palabras clave

Diseño; dispositivo médico; E-Health; enfermedad renal crónica; dispositivo de monitoreo.

Abstract

The following article presents the research and innovation in the industrial design and development of a portable bioimpedance monitor system with clinical precision developed by the Biomedical Engineering Group of the University of Seville and with the Costa Rica Institute of Technology regarding the industrial design. Bioimpedance systems possess industrial design challenges for its application in the e-health field, even though, the continuous increase in life expectancy and the need for more precise medical equipment for sport applications have risen the need for portable and precise medical equipment that can be mass scaled commercialized and empower the user's healthcare situation. A qualitative approach method was used with a methodology designed by the author (Divergent-Convergent Project (DGC) Method). The most important findings were the industrial design and development of the bioimpedance monitor system and the novel methodology for the development of novel portable medical products.

Keywords

Design; medical device; E-Health; chronic kidney disease; monitoring device.

Introducción

Problemática General

El sistema de salud actual está condicionado a una alta dependencia de sistemas de monitoreo no portables que influyen directamente en la capacidad de respuesta hospitalaria [1]. Durante los últimos años, un incremento en la e-salud y sus diversas aplicaciones han ido en crecimiento y aplicación en distintos campos, específicamente con el objetivo de hacer sostenibles los sistemas públicos de salud ante el crecimiento de enfermedades crónicas, envejecimiento de la población y la demanda de mejores estándares de calidad en la población general [2].

La enfermedad renal crónica (ERC) es definida como la reducción de la tasa de filtración glomerular, incremento de la excreción de la albúmina urinaria o ambas y se considera un problema de salud pública de alto riesgo hoy en día, además, se estima que la prevalencia de la ERC a nivel mundial es de un 8% a un 16% [4]. En el caso de los pacientes con enfermedad renal crónica, la valoración de una composición corporal puede ser crítica para la adecuación de las terapias renales sustitutivas [3]. Entre las complicaciones que generan, se pueden enumerar los problemas cardiovasculares, enfermedad del riñón progresiva, falla aguda del riñón, declive cognitivo, entre otros [4]. El monitoreo, revisión constante y utilización de sistemas de alarma pueden facilitar el tratamiento y monitoreo de progresión de la enfermedad renal crónica y en los lugares donde se han realizado planes de contingencia se ha logrado reducir el desarrollo de la etapa final de la enfermedad [5].

El desarrollo de la bioimpedancia en el mercado deportivo profesional es otra saliente de la tecnología que está tomando mucha importancia, tal como lo es la aplicación específica al fútbol, específicamente a los estudios desarrollados a jugadores profesionales de la Serie A de la Liga profesional italiana [6]. Otro aspecto importante es la división de la bioimpedancia para casos de estudio específicos, tales como [7]:

- Uso de datos específicos del análisis de bioimpedancia [7].
- Comparación de los cambios en el análisis de bioimpedancia entre atletas de distinto género y disciplina deportiva [6].
- Cambios de la composición corporal durante breves y extensos lapsos de ejercicio bajo intensidades cambiantes [6].
- Diferencias de la composición corporal entre atletas de una misma disciplina, pero labora distinta (Deportes por equipo) [6].

Es así como diversas aplicaciones de la bioimpedancia se desarrollan en mercados específicos y emergentes, sin embargo, se requieren para la correcta aplicación de la técnica, condiciones estandarizadas de medición [1].

Bioimpedancia como herramienta diagnóstica

La técnica de la bioimpedancia consiste en la inyección de una corriente alterna eléctrica de muy baja intensidad en un medio biológico (cuerpo humano, tejido biológico o cultura celular), esto con el objetivo de detectar caídas de voltaje en el medio; a mayor la caída respectiva, mayor la impedancia eléctrica presentada en el medio [21]. Las medidas de bioimpedancia se basan en el hecho de que los medios biológicos se comportan como conductores, dieléctricos o aislantes a la corriente eléctrica respectiva [21].

El desarrollo de la bioimpedancia ha dejado huella sólida en el mercado deportivo y clínico, específicamente en los desarrollos y avances de la técnica, abren la puerta a futuros dispositivos portables con precisión clínica siendo, a su vez, menos invasivos [8].

Otro estudio inicia la relación entre la composición bioquímica celular y su posible uso para la temprana detección del cáncer, debido a que el cuerpo humano está compuesto por un alto porcentaje de solución electrolítica acuosa y se puede modelar, así como, futuramente, detectar cambios mínimos en los canales y flujos iónicos del cuerpo humano [9]. Además, diversa investigación ha brindado resultados optimistas en la utilización de la bioimpedancia para el estudio de las fracturas óseas y la recuperación de estas mediante la simplicidad de la obtención de datos de la misma técnica [10]. En general, el desarrollo de la bioimpedancia ha llegado a límites clínicos donde puede brindar un alto nivel de confianza a un bajo costo, no dañino para la integridad humana, poco tiempo de uso para obtener los resultados y altamente sensible a cambios leves de impedancia [11]. Basándose en esos principios, se planteó el desarrollo de un bioimpedancímetro portable con precisión clínica, el cual evaluará los siguientes datos fisiológicos mediante un análisis de bioimpedancia (BIA):

- Volumen de agua extracelular
- Volumen de agua intracelular
- Volumen de agua total
- Volumen de agua en exceso o déficit
- Masa celular total
- Masa del tejido adiposo
- Masa del tejido magro
- Masa de grasa
- Masa libre de grasa
- Masa muscular

Materiales y métodos

La selección de la metodología se basa en el modelo Divergente-Convergente de Peter Ogradnik para el diseño de dispositivos médicos en [12], el cual se caracteriza por cinco etapas en las que se contempla desde el recibimiento de la necesidad hasta el desarrollo del producto final. En la metodología planteada por Ogradnik [12], la sección que converge es selectiva e inflexible, debido a la alta cantidad de procedimientos en el diseño general de dispositivos médicos. En [13] se explora la cantidad de variables involucradas en dispositivos médicos móviles, lo que levanta la discusión para un diseño centrado en el usuario más flexible (específicamente en el campo de los dispositivos portables) y un continuo testeo a lo largo de su desarrollo. En adición, [13] describe los distintos aspectos involucrados en el diseño de productos con precisión clínica que están en constante movimiento. Debido a estos factores, se procede a la unión con una metodología versátil como lo es el proceso proyectual [14], donde una constante iteración centrada en el usuario es requerida debido a la naturaleza del proyecto.

La metodología general de esta investigación llamada Divergente-Convergente Proyectual (DGC) se visualiza en la Figura 1.

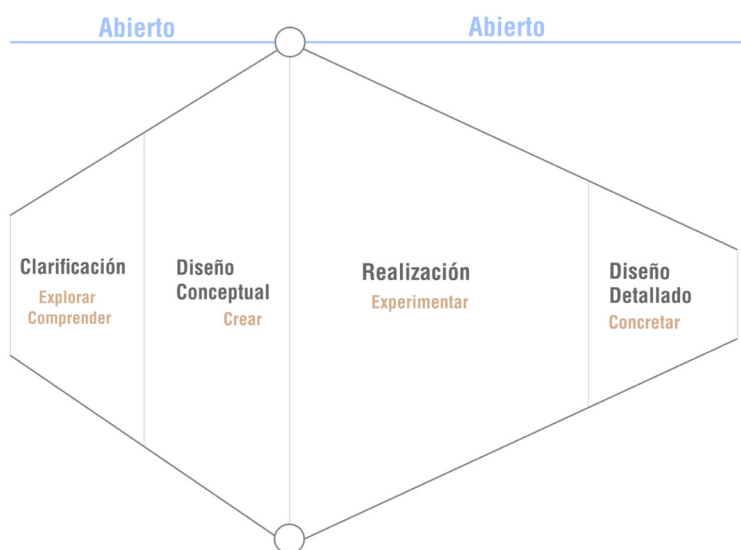


Figura 1. Estructura de la metodología Divergente-Convergente Proyectual

Fuente. Elaboración Propia, 2020.

En donde las cinco etapas respectivas son:

1. Clarificación: etapa inicial en la que se procede a la revisión de aplicaciones previas para necesidades similares, así como el estudio y comprensión de los aspectos técnicos que posee la necesidad. Esta etapa recibe todos los antecedentes del proyecto por desarrollar, se dividen los requerimientos según sea la importancia respectiva y se procede con elaborar posibles soluciones a la necesidad. En esta etapa, se depura la necesidad a un campo más específico.

2. Diseño conceptual: etapa en la que se establece la solución propuesta bajo las necesidades presentadas previamente. Se desarrollan prototipos digitales, visuales y de *software* de baja y mediana fidelidad con el objetivo de analizar el comportamiento del usuario.
3. Realización: desarrollo del prototipo y prueba con el mismo para verificar las variables involucradas. Se estudia mediante soluciones de alta fidelidad, el desempeño de las variables técnicas necesarias para cumplir con los requerimientos establecidos.
4. Diseño detallado: el proyecto por desarrollar se documenta y justifica previo a la norma requerida para generar su entrada al mercado. Todos los aspectos técnicos se preparan y se entregan a las partes involucradas con el objetivo de verificar las decisiones de diseño ejecutadas.

El proceso inicia con la lectura de la teoría respectiva y luego la recepción del prototipo previo desarrollado por el Grupo de Ingeniería Biomédica perteneciente a la Universidad de Sevilla, así como las especificaciones técnicas necesarias para la optimización de este en sus excesivas dimensiones tridimensionales, interfaz y adaptabilidad con el usuario, accesibilidad de técnica, así como de interacción. Seguidamente, se realizan visitas de campo con los involucrados en el uso y desarrollo del producto; es desarrollado un estudio de la cuestión cualitativo mediante entrevistas con el personal involucrado en el proyecto, así como los involucrados del mismo. En adición, se visitó la Asociación de Pacientes con Afección Renal Crónica (Alcer Giralda) de Sevilla, España, y se realizaron entrevistas cualitativas para conocer el impacto psicológico del uso del producto en la enfermedad renal crónica.

Además, se realizaron entrevistas cualitativas con los ingenieros especialistas en Telecomunicaciones y Modelo de Señales para comprender los requisitos técnicos que debía cumplir el diseño. Consecutivamente, se establece una lista de posibles prototipos que puedan cumplir los requisitos establecidos, ergonómicamente justificados en [15] y se depuran para obtener uno solo, el cual se construye, se ensambla y se comprueba con usuarios finales. Ensamblado el producto, se realiza la demás documentación de apoyo basado en la normativa CE bajo la directriz 93/42/EEC [16], análisis de costos y guías técnicas de soporte para el futuro desarrollo masivo del producto.

Herramientas de desarrollo del producto

Para el desarrollo del producto se utilizaron herramientas de Diseño Asistido por Computadora como SolidWorks, Fusion 360 y entre las herramientas específicas se utilizó SolidWorks Plastics, SolidWorks Costing y Fusion 360 Surface Modelling. Se requirió un fuerte desarrollo de co-diseño con elementos pre estandarizados para ajustar el diseño de la carcasa con las mejores prestaciones de adaptabilidad.

Herramienta de prototipado

Los prototipos generados se fabricaron en impresión 3D con PLA como material base y el posterior acabado fue brindado para explorar las distintas visualizaciones físicas del producto. La impresora que se utilizó fue una Prusa Research Prusa3D.

Resultados

El rediseño de la usabilidad ergonómica fue el primer factor más importante para generar un dispositivo accesible a la mayor cantidad de población posible y, específicamente, se consideró la necesidad de los pacientes con enfermedad renal crónica, los cuales poseen una movilidad limitada para colocarse el producto. Los parámetros ergonómicos del producto se establecen con las tablas antropométricas establecidas en [15].

Las medidas requeridas para el desarrollo de la carcasa y el tamaño de los electrodos del dispositivo fueron las siguientes:

- Largo de la mano (186.3 mm)
- Largo de la palma (110.1 mm)
- Ancho de la mano (83 mm)
- Largo del dedo índice (74.7 mm)
- Ancho del dedo índice (21 mm)
- Ancho del pie (98.9 mm)
- Largo del pie (260.5 mm)

La selección de los percentiles corresponde al 65%, debido a que la condicionante electrónica del dispositivo requiere un tamaño de carcasa balanceado y los electrodos, los cuales se deben colocar en la palma del pie y de la mano del usuario, deben cubrir la mayor cantidad de área sin generar algún tipo de incomodidad en el usuario [1].

Las medidas requeridas para el desarrollo del cableado del dispositivo fueron las siguientes:

- Estatura (1712 mm)
- Altura puño-pie (754 mm)
- Ancho de hombros (436 mm)

Debido a que el dispositivo está limitado por el uso del cableado, se establece que un percentil del 95% de los valores mencionados previamente son los más adecuados para cubrir a toda la población y facilitar el alcance entre usuario-dispositivo.

La justificación de la navegación física se desarrolla bajo las normas ISO 9995-7 (Keyboard

layouts for text and office systems -Part 7: Symbols used to represent functions) y la norma IEC 60417 (Graphical symbols) [17]. En adición, la selección de una norma estandarizada se escoge debido a la amplia cantidad de usuarios que utilizarán el dispositivo, lo cual facilita, a su vez, la navegación en la interfaz física. Los íconos seleccionados fueron comprobados mediante pruebas de usabilidad en usuarios reales con edades entre los 25 a los 64 años en pruebas aleatorias, con el objetivo de determinar el tamaño, relieve y composición de la interfaz física.

Debido a que el dispositivo requiere de funciones gráficas tales como:

- Aceptar
- Retornar
- Subir
- Bajar

La norma establece los gráficos específicos para cada función mediante un símbolo estandarizado que puede indicarse posteriormente en la guía técnica del producto y así facilitar los futuros procesos de manufactura y productivos. La Figura 2 y Figura 3 describen el tipo de símbolo por cada función.





ISO/IEC 9995-7 Número	ISO 7000 IEC 4177 Número	Símbolo	Función	Descripción
24	ISO 7000-1025		Aceptar	Enviar datos o mensajes a una aplicación determinada
30	ISO 7000-2106		Deshacer	Retornar a un estado previo del que se encuentra
31	IEC 417-5107		Arriba	Mover el cursor hacia arriba
32	IEC 417-5107		Abajo	Mover el cursor hacia abajo

Figura 2. Funciones de navegación estandarizadas

Fuente. Elaboración propia, 2020.

La función de apagado y encendido debe ir justificada bajo la norma de equipos electrónicos IEC 60417 por lo que se procede a establecer el símbolo asignado para la función Encender-Apagar.


ISO/IEC 9995-7 Número	ISO 7000 IEC 4177 Número	Símbolo	Función	Descripción
5010			Encender / Apagar	Indicar conexión o desconexión de un sistema

Figura 3. Función de apagado y encendido estandarizada

Fuente. Elaboración propia, 2020.

Sistema de encapsulamiento principal

El encapsulamiento principal se resolvió mediante un diseño simple e intuitivo. Los cuatro botones principales presentaron el color gris, debido a que los usuarios requirieron alto contraste para diferenciar el indicador de la función. A su vez, el sistema de encendido se realizó mediante la acción del botón aceptar y el apagado se genera automáticamente (Figura 4).



Figura 4. Encapsulamiento principal

Fuente. Elaboración propia, 2020.

Los indicadores de las entradas USB y SD se declararon textualmente con el objetivo de facilitar su ubicación y lectura (Figura 5).



Figura 5. Detallado de la especificación de las conexiones

Fuente. Elaboración propia, 2020.

En el caso de la topología del dispositivo, los botones se presentan elevados para facilitar su ubicación en el espacio para los usuarios. La conexión de bioimpedancia se eleva de la carcasa, debido a que debe existir un espacio de seguridad entre la PCB y la conexión, con el objetivo de evitar problemas de medición por fallos en el ensamblaje. En adición, la conexión USB (cargar el dispositivo) y la conexión SD (resguardo de datos) se agrupan juntas en la parte inferior del dispositivo con el objetivo de agrupar su función mediante la jerarquía del funcionamiento (Figura 6).



Figura 6. Conexiones de comunicación y de alimentación

Fuente. Elaboración propia, 2020.

La conexión de bioimpedancia, por requerimiento técnico justificado con entrevistas con expertos, debe estar aislada de las conexiones auxiliares del dispositivo. En su caso, la conexión USB (cargar el dispositivo) y la conexión SD (resguardo de datos) se agruparon juntas en la parte inferior del dispositivo, con el objetivo de unificar su función mediante la jerarquía del funcionamiento.

En adición, la conexión de bioimpedancia se elevó de la carcasa, debido a que debe existir un espacio de seguridad entre la PCB y la conexión, con el objetivo de evitar problemas de medición por fallos en el ensamblaje. El conector de bioimpedancia está lo más cerca de la superficie inferior, con el objetivo de mantener la posición horizontal, tal como se muestran en la Figura 7. Así mismo, el sistema de acople presenta un leve giro de roscado con el objetivo de evitar la entrada de polvo o agua a los contactos y el cableado interno viene protegido por una funda de poliéster sellada mediante compresión con el conector.

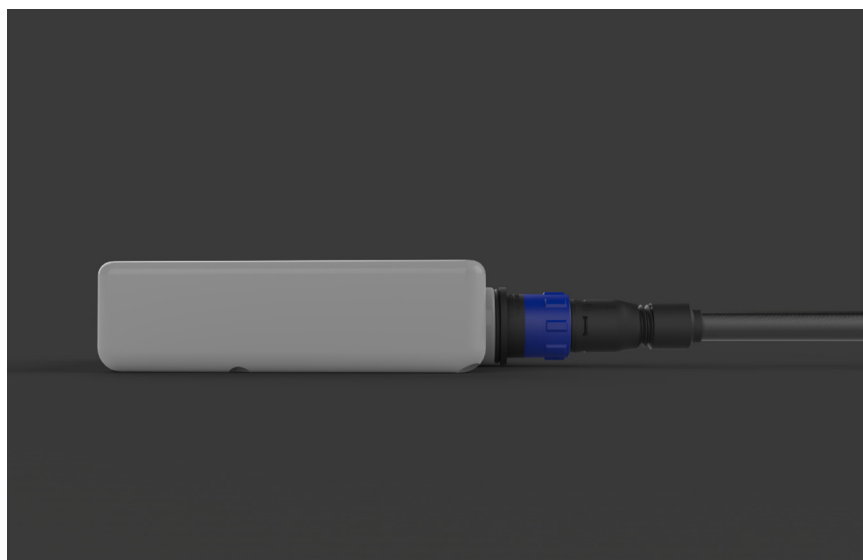


Figura 7. Conexión de bioimpedancia

Fuente. Elaboración propia, 2020.

El cable de bioimpedancia (Figura 8) en su totalidad tiene 2 metros de largo divididos en un metro de cableado unido y cada conexión saliente posee otro metro. Los valores se establecieron mediante el análisis antropométrico de la población en [15]. En adición, el recubrimiento de la conexión se establece mediante poliéster comprimido para evitar el desarrollo de nudos y la afectación interna del cableado. La importancia del aislamiento con el exterior se debe a que la conexión de bioimpedancia puede ser manipulada por agentes externos y alterar la medición [1].



Figura 8. Cableado general

Fuente. Elaboración propia, 2020.

El prototipo de alta fidelidad (Figura 9) presenta las conexiones exactas e indicadas en los requerimientos para así poder validar su funcionamiento de una manera más precisa mediante los parámetros técnicos establecidos previamente [16]. En adición, se construyó mediante manufactura aditiva en una impresora Prusa Research del laboratorio del Grupo de Ingeniería Biomédica. Los demás componentes fueron ordenados a las casas matrices correspondientes para así ensamblar de manera exitosa.



Figura 9. Prototipo de alta fidelidad

Fuente. Elaboración propia, 2020.

Discusión de resultados

El prototipo elaborado presenta un diseño industrial viable para el desarrollo de un bioimpedancímetro portable, sin embargo, una verificación con usuarios de manera masiva en entornos hospitalarios y domésticos es recomendada para mejorar la iteración del producto. El prototipo desarrollado presenta una solución unificada en comparación con [18] y [19]. La metodología DGC es un principio novedoso, sin embargo, se requiere futura aplicación y revisión por pares internacionales, así como una inclusión en proyectos por desarrollar en el campo de la telemedicina y desarrollo de productos de monitoreo portables. Es aconsejable generar una segunda revisión con expertos en el campo del diseño, sobre la normativa escogida para preparar el producto con la normativa seleccionada. En adición, se recomienda realizar pruebas clínicas para evaluar el desempeño de la obtención de los datos de bioimpedancia en el prototipo desarrollado.

Conclusiones

El diseño del bioimpedancímetro presenta una aproximación novedosa y justificada a nivel de usuario [11]. El trabajo en la teoría fue uno de los pilares principales, debido a que el diseño de la interfaz física de un dispositivo clínico va estrechamente relacionado con la función de este, por lo que una metodología novedosa fue aplicada para el desarrollo de este [12]. La línea de involucrados es, a su vez, un aspecto que desde el inicio se tuvo en cuenta en el desarrollo de este trabajo siguiendo a [13]. Las decisiones del diseño del dispositivo van estrechamente relacionadas con la observación, la visita y entrevista con pacientes reales en la Asociación Alcer Giralda de Sevilla. Esto a su vez, establece un futuro usuario del dispositivo en un escenario real.

Se determinó un diseño manufacturable justificado mediante costos y materiales escogidos [20], así como con la justificación de esclarecimiento jurídico que viene detrás del desarrollo del dispositivo médico; específicamente con la aprobación de entrada en el mercado del marco de Comunidad Europea [16]. En adición, el diseño fue producto de un trabajo multidisciplinario donde el diseñador tuvo la responsabilidad de realizar una lectura previa sobre el diseño electrónico para así colaborar en las mejoras de la placa establecida, con el fin de generar un diseño integrado que brinde las mejores prestaciones. Además, otro aspecto que facilita el cómodo uso del dispositivo fue la gradiente de mejora en el cableado de bioimpedancia y medidas antropométricas, estableciendo un largo de dos metros con un metro de separación por conexión calculado con base en [15].

La metodología DGC presenta una aproximación novedosa al desarrollo de proyectos médicos multidisciplinarios, sin embargo, una exploración más profunda es recomendada y bienvenida.

Recomendaciones

Para el futuro desarrollo del dispositivo, se recomienda la validación a nivel electrónico y de la programación computacional con respecto a las directrices de la Comunidad Europea. A su vez, la construcción final de diversos componentes para su ensamblaje y el respectivo ajuste a la carcasa establecida. Así mismo, pruebas clínicas del diseño final del dispositivo en entornos clínicos son recomendables como herramienta de mejora continua.

Reconocimientos

La investigación fue realizada bajo el financiamiento de la Beca de Pregrado de Investigación por medio del Consejo Nacional de Rectores bajo el memorando (N.º 06-2016) de Aprobación y postulación de la Escuela de Ingeniería en Diseño Industrial y en concordancia con el Grupo de Ingeniería Biomédica código PAIDI-TIC203 perteneciente a la Escuela Técnica de Ingenierías de la Universidad de Sevilla.

Referencias

- [1] Naranjo-Hernández D, Reina-Tosina J, Buendía R, Min M, Bioimpedance Sensors: Instrumentation, Models, and Applications, *Journal of Sensors*, vol. 2019, Article ID 5078209, 2 pages, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/5078209>
- [2] Wahezi SE, Kohan LR, Spektor B, Brancolini S, Emerick T, Fronterhouse JM, Luedi M, Colon MA, Kitei PM, Anitescu M, Goeders NE, Patil S, Siddaiah H, Cornett EM, Urman RD, Kaye AD, Telemedicine and Current Clinical Practice Trends in a COVID-19 Pandemic, *Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology*, <https://doi.org/10.1016/j.bpa.2020.11.005>.
- [3] Weiner S, Fink J, Telemedicine to Promote Patient Safety: Use of Phone-Based Interactive Voice-Response System to Reduce Adverse Safety Events in Pre-dialysis CKD, *Advances in Chronic Kidney Disease*, Volume 24, Issue 1, 2017, Pages 31-38, ISSN 1548-5595, <https://doi.org/10.1053/j.ackd.2016.12.004>.
- [4] Jha V, Garcia-Garcia G, Iseki K, Chronic kidney disease: global dimension and perspectives. *Lancet*. 2013
- [5] M. A. Estudillo-Valderrama et al., "A Distributed Approach to Alarm Management in Chronic Kidney Disease," in *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, vol. 18, no. 6, pp. 1796-1803, Nov. 2014, doi: 10.1109/JBHI.2014.2333880.
- [6] Bonuccelli A, Marzatico F, Stesina G, Stefanini L, Buonocore D, Rucci S, Tencone F, Gatteschi L, Bioelectrical impedance vector analysis (BIVA) to evaluate seasonal variations in body composition of elite soccer players. *Journal of Sports Nutrition*. 2011
- [7] Ling C, De Craen A, Slagboom P, Gunn D, Stokkel M, Westendorp R, Maier A, Accuracy of direct segmental multi-frequency bioimpedance analysis in the assessment of total body and segmental body composition in middle-aged adult population, *Clinical*

Nutrition, Volume 30, Issue 5, 2011, Pages 610-615, ISSN 0261-5614, <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2011.04.001>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261561411000665>)

- [8] Fernández-Corazza M, Turovets S, Luu P, Anderson E, Tucker D, Transcranial Electrical Neuromodulation Based on the Reciprocity Principle. *Frontiers in Psychiatry*. 2016
- [9] Herrera L, Chaparro C, Pinto S, Corzo S, Torres-Mejias M, Electrical Properties of Normal Cervical Human Cells in Suspension: The Relation between Normal Tissue and Electrical Impedance Spectrum. *Springer Link*. 2016
- [10] Dell’Osa H, Concu F, Dobarro J, Felice C, Bone Fracture Detection by Electrical Bioimpedance: First Non-Invasive Measurements in Ex-Vivo Mammalian Femur. *BioRxiv*. 2019
- [11] Demers G, Migliore S, Bennett DR, Ultrasound evaluation of cranial and long bone fractures in a cadaver model. *Mil Med*. 2012.
- [12] Ogrodnik P, *Medical Device Design*. Elsevier. 2013.
- [13] Stein R, Wilklund M, *Human Factors in Medical Device Design*, CRC Press. Pages 715-747. 2011
- [14] Araya-Rojas L, Granados-Gómez D, Experiencia de aplicación del design thinking al curso de métodos de desarrollo de productos. *CIMTED*. 2016
- [15] Matzdorff J, Windberg J. *International Anthropometric Data for Work-Place and Machinery Design*. Federal Ministry of Labour and Social Affairs. 1998
- [16] Council of European Communities, COUNCIL DIRECTIVE 93/42/EEC, *Official Journal of the European Communities*, 1993.
- [17] International Electrotechnical Commission, *Symboles graphiques utilisables sur le matériel*. Graphical symbols for use on equipment. ISO. 2015.
- [18] Villa F, Magnani A, Castiglioni P, Portable Body Impedance System for Long-Term Monitoring of Body Hydration, *International Conference on Pattern Recognition, Informatics and Medical Engineering, PRIME*, 1-4, 2012.
- [19] Corbellini S, Vallan A, Arduino-based portable system for bioelectrical impedance measurement, *IEEE MeMeA 2014 - IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications*.
- [20] Goodship V, Middleton B, Cherrington R, *Design and manufacture of plastic components for multifunctionality: structural composites, injection molding, and 3D printing*. Elsevier. 2016.
- [21] Naranjo-Hernández D, Reina-Tosina J, Min M, *Fundamentals, Recent Advances, and Future Challenges in Bioimpedance Devices for Healthcare Applications*", *Journal of Sensors*, vol. 2019, Article ID 9210258, 42 pages, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/9210258>