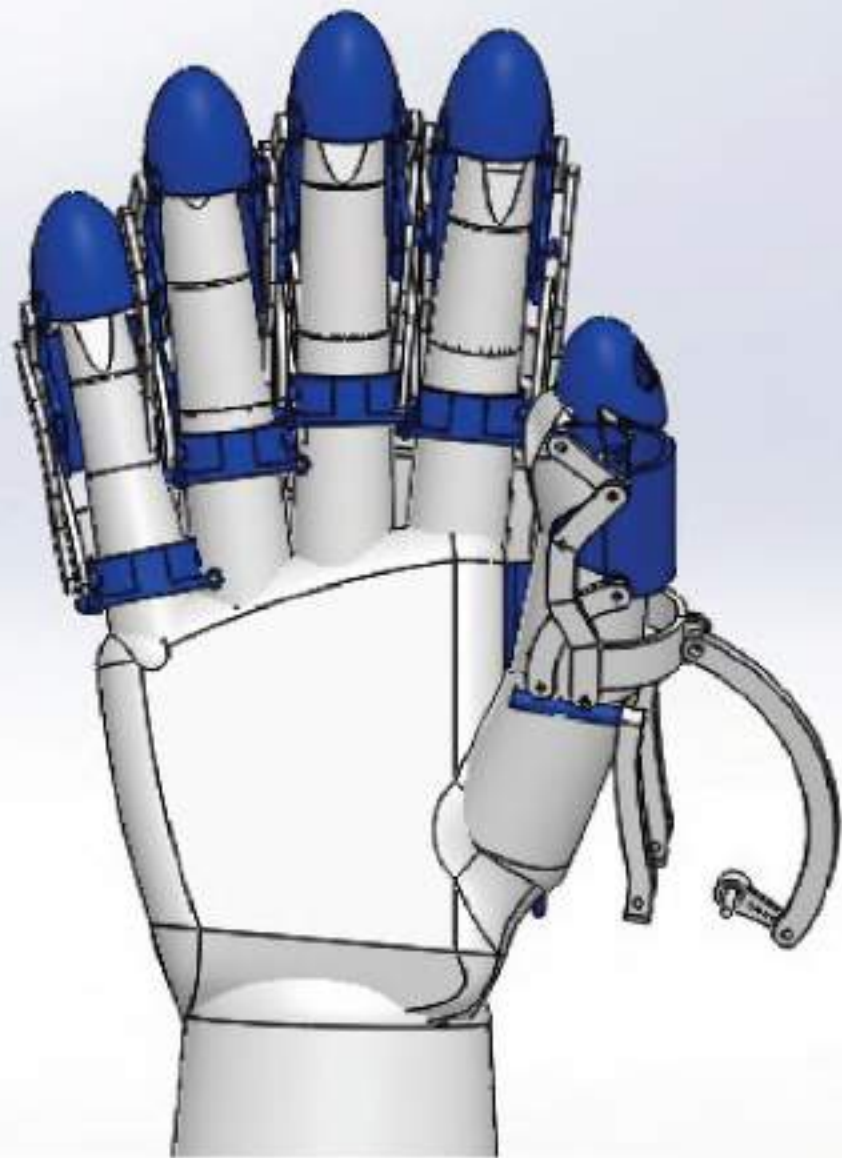


DISEÑO DE EXOSQUELETO MECÁNICO PARA INTERFAZ HÁPTICA CON RETROALIMENTACIÓN DE FUERZA EN LOS DEDOS PARA ENTORNOS DE REALIDAD VIRTUAL

Juan Pedro Cruz Sánchez
- Ingeniería en Mecatrónica.
- Maestría en Diseño e Innovación [Estudiante].
- Universidad Autónoma de Querétaro.

César Oswaldo Mendoza Herbert
- Maestría en Instrumentación y Control
- Universidad Autónoma de Querétaro.



RESUMEN

Los residuos agrícolas forman la mayor parte de desechos que se generan a nivel mundial. Su reutilización está siendo un tema importante para el cuidado del medio ambiente y de las buenas prácticas de agricultura. Sin embargo, la gran cantidad que se produce como resultado a la extrema demanda alimentaria, hace que su reutilización en composta o alimento para ganado deje de ser suficiente y gran cantidad de estos residuos terminan en basureros o en quema de biomasa. Esta investigación propone una alternativa para la reutilización de los residuos de forraje de la producción de jitomate en un material biodegradable que pueda aprovecharse para la fabricación de empaque dentro del ámbito agricultor.

Primero se describe el panorama de la agricultura y cómo aumentará su producción, y por ende los residuos en los próximos años. Posteriormente se muestran los casos registrados de reutilización de este tipo de desechos, después se explica cómo se llegó al método final para obtener el nuevo material y finalmente se describe cómo es que por medio del MDD (Material Driven Design), Método para Diseñar Experiencias con Materiales, se definirán sus especificaciones técnicas y funcionales cubriendo las necesidades hedónicas del usuario.

PALABRAS CLAVE

Exoesqueleto háptico, design thinking, realidad virtual, retroalimentación de fuerza.

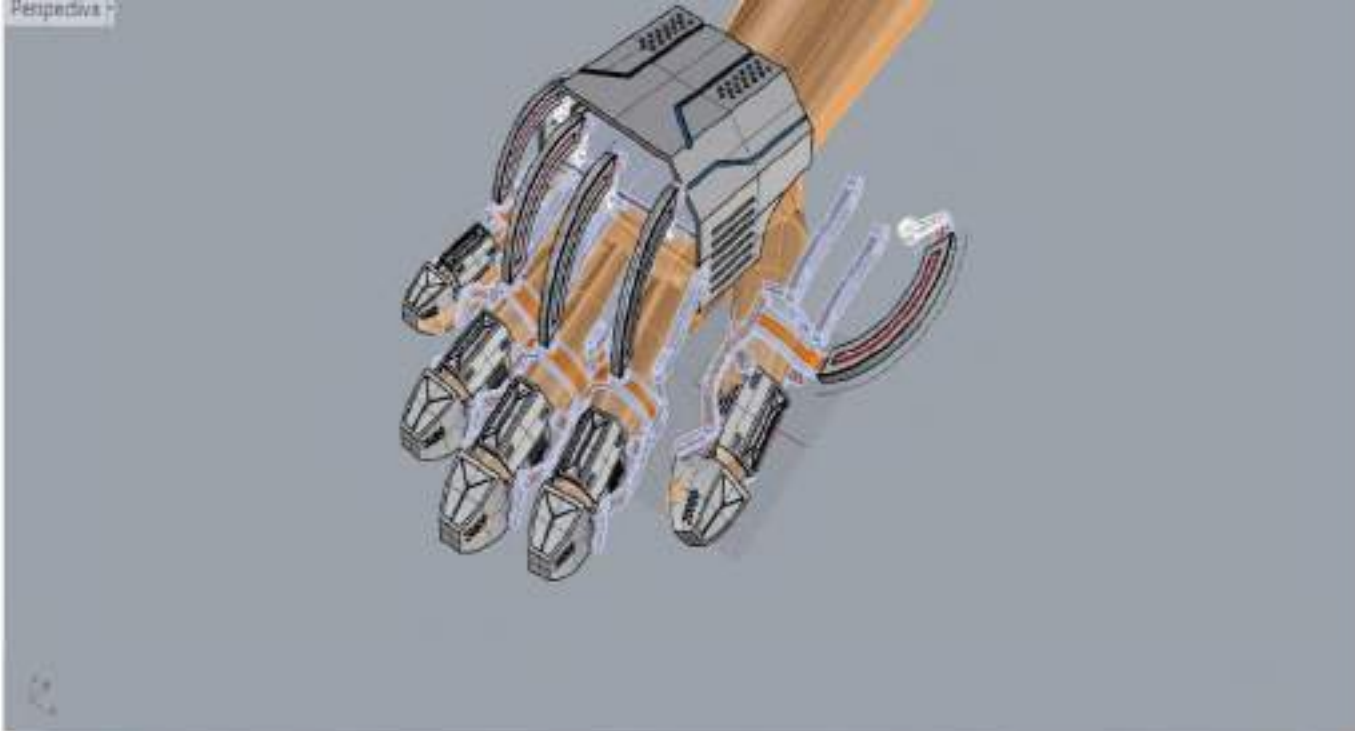


ABSTRACT

This paper describes the opportunity to develop an exoskeleton haptic interface for virtual reality environments with independent movement in each finger focused on force feedback. A review of the literature is made as well as a comparison of the advantages and disadvantages among today devices, an alternative solution is proposed through the use of CD servomotors and an IMU sensors based localization system. The mechanical design is discussed under the Design thinking methodology by Tim Brown for product design focused on the user as well as the application of it in order to generate a concept that emulates the natural movement in the fingers capable of simply integrating electromechanical actuators for their subsequent control and electronic manipulation while complying with the requirements of form, aesthetics, use and function.

PALABRAS CLAVE

Design thinking, force feedback, haptic exoskeleton, virtual reality.



INTRODUCCIÓN

Como resultado del acelerado crecimiento exponencial en el campo de la realidad virtual (RV), se estima que para el año 2018 se gastarán 5,2 billones de dólares en consumo de RV (BBVA Innovation Center, 2015) brindando una oportunidad de desarrollo tecnológico e innovación a distintos niveles. Por esta razón, en este artículo se presenta una propuesta de un sistema tecnológico para la inclusión de un tercer canal sensorial, el tacto, como complemento a los sistemas audiovisuales de RV existentes en la actualidad.

Al mismo tiempo, la RV a nivel personal es una tendencia, debido a que la tecnología ha posibilitado la estandarización de componentes y la disminución de costos; por lo que diariamente se generan aplicaciones para este tipo de tecnologías utilizadas en diversos sectores, prueba de ello es su uso en: simulación de procesos de manufactura (Mujber, Szecsi, & Hashmi, 2004), turismo (Guttentag, 2010), psicología (Srivastava, Chaudhury, & Das, 2014), educación (Ludlow, 2015), entre otras. Asimismo, su implementación se ha potencializado en áreas como la medicina y el entretenimiento, por las ventajas que dichas aplicaciones de RV suponen versus la realidad: bajos costos, reducción de barreras geográficas y riesgos, inclusión de las personas independientemente de su antropometría, entre otras (Corbetta, Imeri, & Gatti, 2015).

A pesar de lo anterior, la mayoría de estas aplicaciones comprenden interfaces audiovisuales vía sistemas de visión estereoscópica y audio 360 (Holden, 2005) y mecanismos complejos que involucran estructuras móviles (simuladores) para el adiestramiento de prácticas de riesgo (Kim & Lee, 2013); sin embargo, ambas alternativas carecen de retroalimentación táctil limitando al usuario de una sensación de inmersión mayor, especialmente en actividades donde se requiere el uso de las manos.

Las interfaces hápticas permiten tocar, sentir y manipular objetos de forma natural al introducir el sentido del tacto, lo que proporciona al usuario tanto sensaciones como información del entorno, imposible de captar de otra manera. Si a los estímulos visuales, auditivos y kinestésicos añadimos un nuevo sentido, el háptico, que consiste en emplear el sentido del tacto de manera activa con el propósito de obtener información del objeto que se esté tocando; la experiencia, el nivel de concentración y la atención prestada aumentarían de manera significativa dando como resultado una mejora en el proceso de aprendizaje de una actividad (Alexander, Johnson, & Schreiber, 2002).

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

A través de una interfaz que tiene la función de enlace, los sistemas de realidad virtual permiten la comunicación y el intercambio información entre el usuario y el entorno virtual de manera bidireccional (Mihelj, Novak, & Beguš, 1999).

El estado de presencia que el usuario puede o no experimentar, representa la sensación del "ser" en un entorno virtual y se divide en estado físico y mental (Waterworth & Waterworth, 2010). El primero se obtiene mediante la presentación de un mundo virtual con una serie de estímulos físicos sintéticos de uno o varios sentidos en respuesta a la posición o acciones del usuario en interacción con el entorno.

Por otro lado, el estado de presencia mental es individual y depende del contexto y respuesta del usuario y está relacionado con la experiencia de "estar ahí". Distintos usuarios pueden experimentar diferentes niveles de presencia con el mismo sistema de realidad virtual, y un mismo usuario a su vez puede experimentar niveles desiguales de presencia con el mismo sistema en diferentes instantes de tiempo (Slater, 2003).

Para lograr un mejor sentido de presencia, el sistema de realidad virtual debe ser interactivo, es decir, el usuario debe tener respuesta del ambiente; una de las formas más efectivas es la retroalimentación sensorial (Mihelj & Podobnik, 2012) en la cual el usuario es provisto de feed-back de acuerdo con su localización física. Generalmente, la retroalimentación se brinda por medio de información visual y auditiva aunque en algunos ambientes sólo se provee información kinestésica. Por lo anterior, es de suma importancia registrar la posición del usuario para proveer una correcta retroalimentación.

Con base en lo anterior, un indicador de efectividad de un sistema de realidad virtual es el grado de inmersión que genera (Bowman & McMahan, 2007). La inmersión se percibe como una descripción cuantificable de la tecnología, principalmente por la complejidad de los sistemas de visualización (Slater & Wilbur, 1997), y por otro lado, como la percepción y reacción individual a los ambientes virtuales (Bystrom, Barfield, & Hendrix, 1999).

Como se observa, existe una relación estrecha entre el estado de presencia e inmersión, mientras mayor sea el estado de presencia logrado (físico y mental) mayor será la inmersión del usuario en el sistema de RV (Mihelj & Podobnik, 2012). Esto se debe en primer lugar a que una mayor cantidad de estímulos sensoriales brinda un estado de presencia mental mayor, y en segundo, como define Slater un sistema tecnológico más sofisticado en términos de eficiencia y efectividad de transmisión de información automáticamente posee un grado (físico) mayor de inmersión (Slater, 2003).

Para que la inmersión se logre, el intercambio de información es utilizado como retroalimentación tanto para el sistema como para el usuario con la finalidad de generar una interacción correcta entre ambos. Esta retroalimentación puede ser visual, auditiva, kinestésica o háptica dependiendo el canal de transmisión al usuario (Sherman & Craig, 2003).

La háptica, se refiere a la habilidad de tocar y manipular objetos, es decir, está basada en la sensación táctil la cual provee conciencia de los estímulos en la superficie del cuerpo (Samur, 2012). Las interfaces hápticas pueden clasificarse en tres grandes grupos, según el tipo de retroalimentación que proporcionen: retroalimentación de fuerza, retroalimentación táctil, o retroalimentación propioceptiva (Burdea, Lin, Ribarsky, & Watson, 2005), cada una de ellas, proporciona diferente información a los estímulos hápticos, por lo que su función y correcta elección es clave para su aplicación.

Los entornos virtuales que sólo involucran los sentidos visual y auditivo están limitados en la habilidad de interactuar con el usuario, por lo que se necesita la inclusión de sistemas hápticos que permitan la transmisión de sensaciones y la manipulación de objetos. El brazo y mano humanos permiten la exploración de las propiedades de los objetos (textura, forma) y al mismo tiempo su manipulación, esta habilidad trasladada a los sistemas de realidad virtual aumentada con la percepción visual y auditiva, permiten un grado de inmersión que de otra forma no sería posible. Además, la inhabilidad de tocar y sentir los objetos, ya sea en el mundo real o virtual, empobrece y afecta significativamente la habilidad de interactuar con el entorno (Minsky, Ming, Steele, Brooks, & Behensky, 1990).

ESTADO DEL ARTE

Si bien la idea de introducir nuevos sentidos al mundo virtual no es nueva, varias investigaciones se han llevado a cabo, diversos factores como la complejidad de funcionamiento y su elevado costo han dificultado su uso eficaz y su exitosa introducción al mercado. En la figura 1 se muestran algunos de los métodos utilizados para emular el sentido del tacto a los entornos virtuales, algunas de sus ventajas y desventajas.

Como se aprecia, la mayoría de ellos no ofrecen retroalimentación de fuerza, es decir son unidireccionales ya que solo retroalimentan la posición del usuario al ordenador para su procesamiento, pero este no regresa a su vez la retroalimentación táctil para experimentar una sensación de inmersión mayor. Solo los dispositivos del tipo mecánico ofrecen esta característica, pero su diseño robusto y poco ergonómico, la complejidad de operación y su elevado costo los hacen poco atractivos para el usuario y el mercado general.



Fig 1: Diferentes enfoques para la inclusión de las manos en entornos virtuales.

Fuente: Grafico elaboración propia, Imágenes: a) Óptica tomada de www.leapmotion.com b) Mecánica tomada de www.cyberglovesystems.com c) Inercia tomada de <http://orangecountryvr.com/haptics-list/> d) sensores de flexión tomada de <http://metamotion.com/hardware/motion-capture-hardware-gloves-cybergloves.htm>

AUTOR / COMPAÑÍA	NOMBRE	CONFORMACIÓN / TIPO	TIPO DE ACCIONAMIENTO	TRACKING	DOF (DEGREE OF FREEDOM)	SDK	ÁREA DE TRABAJO	PESO APROXIMADO (grs)	INMERSIÓN LOGRADA	STATUS	PRECIO
Cyber Glove Systems	CYBERGRASP	Exoesqueleto	Mecánico (servomotores)	Acelerómetros	11	NO	1 m Esférico	450	-	Comercial	-
Neurodigital Technologies	GLOVEONE	Guante	Actuadores Vibrotáctiles	IMU's (Acelerómetro / giroscopio)	9	SI	10 m Esférico	100	+	Comercial	€ 249
Manus VR	MANUS VR	Guante	Vibradores	IMU's (Acelerómetro / giroscopio)	11	SI	20 m Esférico	100	+	Comercial	€ 250
Dexta Robotics	DEXMO	Exoesqueleto	Mecánico (servomotores)	IMU's (Acelerómetro / giroscopio)	11	SI	20 m Esférico	190	++	Comercial	NA
Sensible Technologies	PHANToM	Brazo Robótico	Motor DC	Encoders	2-6	SI	160 W 120 H 120 D mm	1786	+	Comercial	\$1,200
Mourad Bouzit, George Popescu, Brigore Burdea and Rares Bolan, 2002	Rutgers Master II ND	Guante	Actuador Neumático	Sensores de Flexión Efecto Hall	5	NO	2 m Esférico	80	-	Prototipo	-
Robot Hand Kit for Research	HIRO III	Brazo y Mano Robótico	Motor DC	Encoders	15 para la mano 6 para el brazo	NO	0.09 m3	780	++	No Comercial	-
Vivoxie	POWERCLAW	Guante	Celda de Peltier Buzzers	Infrarrojo (Leap Motion)	NA	SI	650 mm3 Spherical Conic	120	+	Comercial	\$400
Rice University	HANDS OMNI	Guante	Micro Camaras de Aire	Infrarrojo (Leap Motion)	5	NO	650 mm3 Spherical Conic	350	-	Prototipo	-
El Rifado Studio	TOUCH VR	Exoesqueleto	Micro motoredutores CD	IMU's (Acelerómetro / giroscopio)	11	SI	2 m Esférico	400	+	Prototipo	-

Tabla 1: Comparativa de sistemas hápticos existentes

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 1 se muestra una comparativa de los proyectos y productos más sobresalientes en la actualidad en cuanto a interfaces hápticas se refiere comparando el tipo de accionamiento, el tipo de retroalimentación háptica que proporciona, si cuenta con un kit de desarrollo para software (SDK), espacio de trabajo y la inmersión lograda[1]. Por su parte, Cyberglove, consiste de un sistema de retroalimentación táctil creado por la empresa Virtual Technologies Inc. constituido por pequeños vibradores para generar sensaciones emulando texturas mediante diferentes frecuencias, pero que dejan a un lado la retroalimentación de fuerza y con ello la posibilidad de identificar contornos (Cyberglove Systems, 2015). Por otro lado, la retroalimentación propioceptiva donde la posición del usuario es crucial se ha utilizado en productos como Leap motion, un dispositivo creado por Leap Motion Inc. que localiza el movimiento en los dedos y manos utilizando tecnología infrarroja, lo que limita a su vez el espacio de trabajo e imposibilita la retroalimentación háptica.

Rice University, por otro lado, en su proyecto HANDS OMNI utilizó micro cámaras de aire para bloquear las coyunturas de los dedos y así bloquear el movimiento, pero además de ser invasivo, la infraestructura necesaria para generar el aire a presión encarece el sistema y dificulta su utilización.

Así mismo, la empresa mexicana Vivoxie con el desarrollo de PowerClaw, se centra en propiedades mecánicas de los objetos virtuales como lo son la temperatura y rugosidad ya que su interfaz solo posibilita estas sensaciones, dejando a un lado también la retroalimentación de fuerza.

Dexmo, un desarrollo de Dexa Robotics, ha presentado un guante háptico tipo exoesqueleto que cubre la mano y muñeca centrándose en la retroalimentación de fuerza, ya que al ser un dispositivo con estructura mecánica promete brindar una sensación de agarre muy parecida a la realidad, sin embargo, su producto aún no está disponible ya que sigue en fase de desarrollo y se desconocen su costo y capacidades reales (Gu et al., 2016).

Por lo anteriormente mencionado, en este artículo se presenta una alternativa con el objetivo de introducir la retroalimentación de fuerza mediante un exoesqueleto mecatrónico para la captura y control de movimiento independiente en cada uno de los dedos, con el uso de tecnologías comerciales y de fácil acceso como lo es la impresión 3D, servomotores y giroscopios, para generar un prototipo funcional de una interfaz háptica de retroalimentación de fuerza para emular el sentido del tacto en los entornos de realidad virtual.

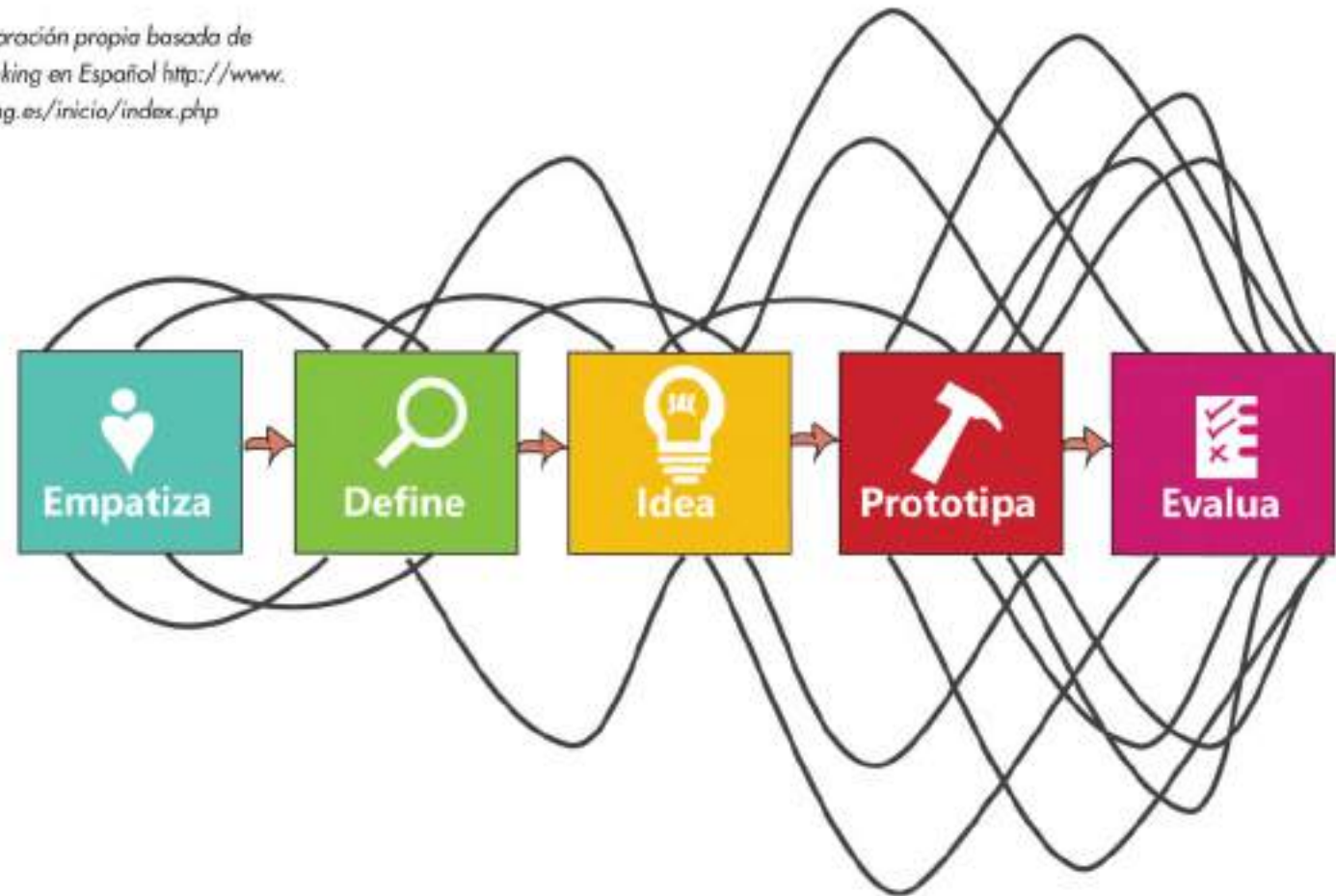


OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

Desarrollar un dispositivo háptico para emular el sentido del tacto por medio de retroalimentación de fuerza limitando el movimiento en los dedos de los usuarios para para generar un mayor estado de presencia e incrementar la inmersión en comparación con los sistemas virtuales audiovisuales.

Fig. 2: Metodología Design Thinking de cinco pasos de Tim Brown.

Fuente: Elaboración propia basada de Design Thinking en Español <http://www.designthinking.es/inicio/index.php>



METODOLOGÍA

El presente estudio es mixto ya que conjunta elementos de carácter cualitativo como la usabilidad y el sentido de inmersión y presencia de los usuarios, así como cuantitativo en el manejo de parámetros y variables de control para generar los algoritmos pertinentes para la captura de

movimiento y los vectores de fuerza de la retroalimentación háptica. Por la naturaleza de la investigación, el trabajo estará dividido en cinco etapas basadas en la Metodología del Design Thinking propuestas por Tim Brown (2009) CEO de la consultoría de diseño IDEO.

Como se muestra en la figura 2 esta metodología no es lineal, sino más bien iterativa, es decir en cualquier momento se puede avanzar o retroceder dependiendo de cómo el proceso mismo lo determine, e incluso, se pueden saltar etapas ya que aunque se propone un orden, dicha metodología, da la libertad de movimiento a través de ella (Plattner, Meinel, & Leifer, 2011).

Se comienza por recolectar información en gran cantidad mediante diferentes herramientas tales como mapa de empatía, observación encubierta, mapa de actores, entre otras para tener un mayor conocimiento de las necesidades del usuario que interactúa de manera directa e indirecta en la solución en desarrollo y se conoce como **fase de empatía**.

Posteriormente pasamos a la **fase de definición**, donde se analiza la información recopilada en la fase anterior para detectar cuál es útil y cuál puede ser desechada y con base en ella se define el problema o serie de problemas cuya solución o soluciones serán la clave para la resolución de nuestro problema global.

A continuación, la **fase de idear**, consta de generar una gran cantidad de ideas creativas para cubrir los problemas definidos en la etapa anterior con el objetivo de no encasillarse en una sola idea, sino más bien, en contemplar todas las posibilidades de solución aplicando el principio de innovación "piensa fuera de la caja".

Al mismo tiempo que se generan las ideas, se hacen prototipos rápidos, dando pie a la siguiente fase, **prototipar**, con la finalidad de hacer real y palpable nuestra propuesta de solución y así visualizarla de manera sencilla eliminando los posibles problemas en la transmisión de ideas que en equipos multidisciplinarios se presentan, es decir comunicar dicha idea de manera rápida pero clara y precisa.

Finalmente, en la **fase de evaluación**, el prototipo es validado y probado por el usuario con el objetivo de generar toda la retroalimentación posible para detectar mejoras significativas de la idea o para desecharla y continuar con el desarrollo de otra propuesta.

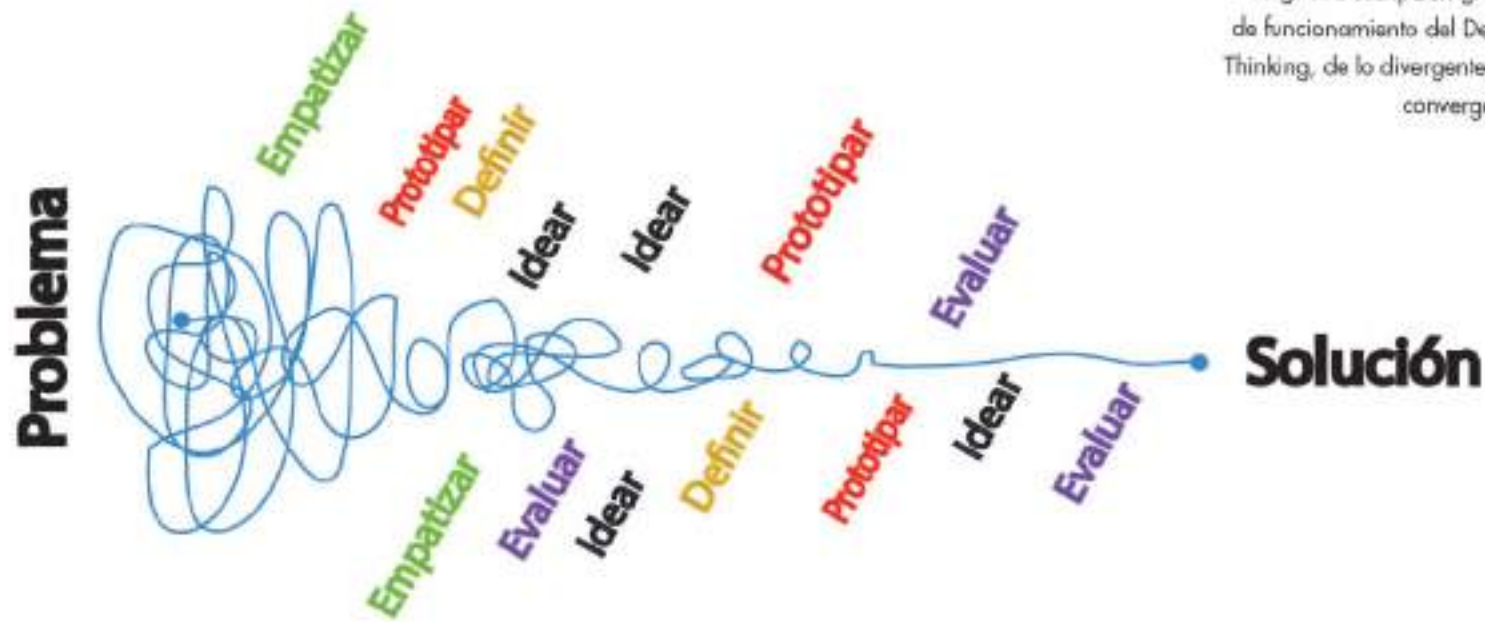


Fig. 3: Descripción gráfica de funcionamiento del Design Thinking, de lo divergente a lo convergente.

Fuente: Elaboración propia.

En esencia, como se muestra en la figura 3, el Design Thinking consiste en un análisis iterativo que va de lo divergente a lo convergente para encontrar soluciones particulares a problemas claramente definidos tras comprender al usuario y a su entorno, generando insights al empatizar con él (Plattner et al., 2011).

Por lo anterior, esta investigación se basa en dicha metodología enfatizando las fases de empatizar, prototipado y validación para diseñar una estructura mecánica tipo exoesqueleto para la mano y emular el movimiento natural de la misma generando un mecanismo más real para la limitación del movimiento.

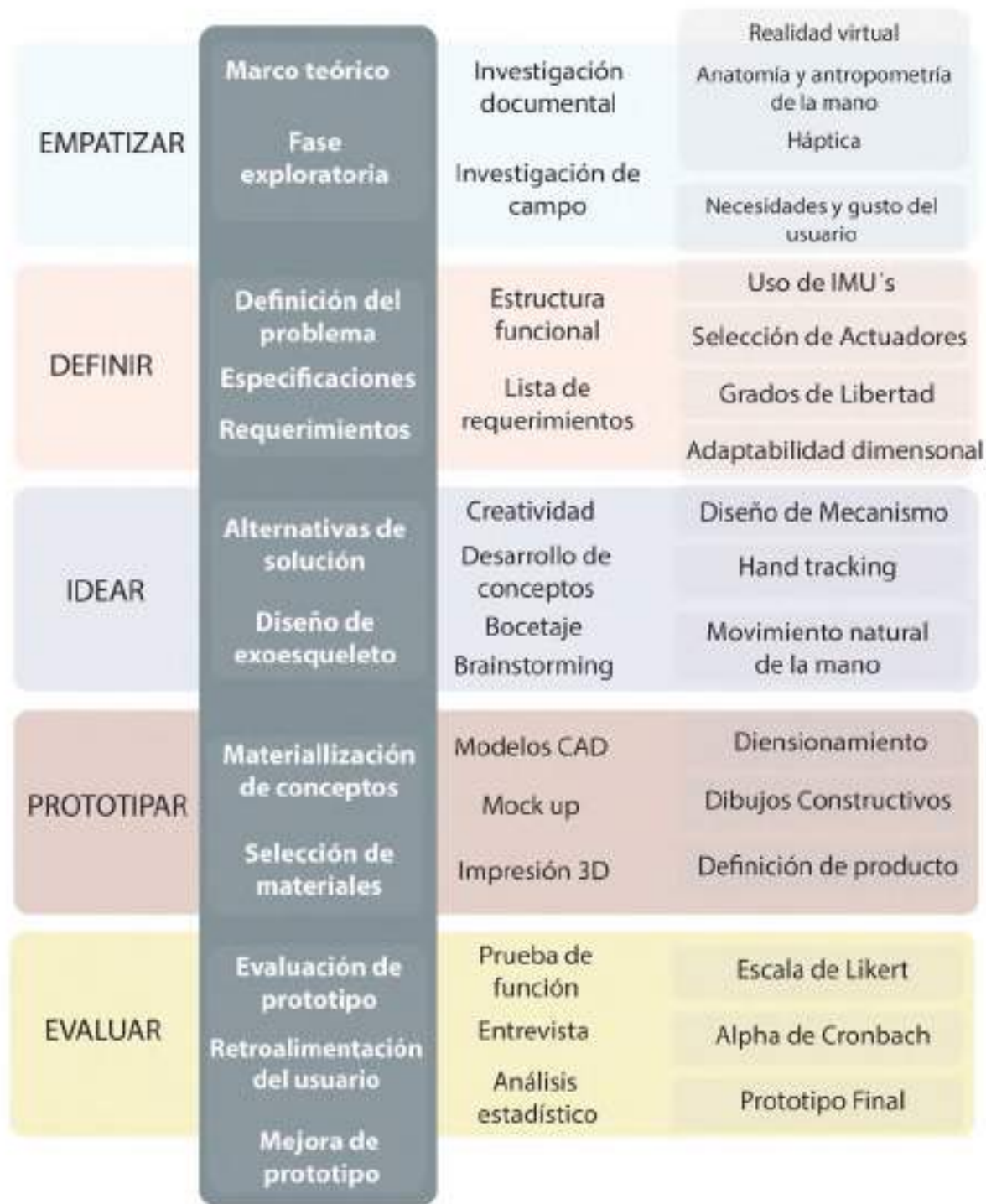


Fig. 4: Design Thinking aplicado al desarrollo de una interfaz háptica.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4 se observa cada una de las etapas de la metodología empleada así como las diferentes herramientas y resultados obtenidos para el concepto final de la interfaz háptica.

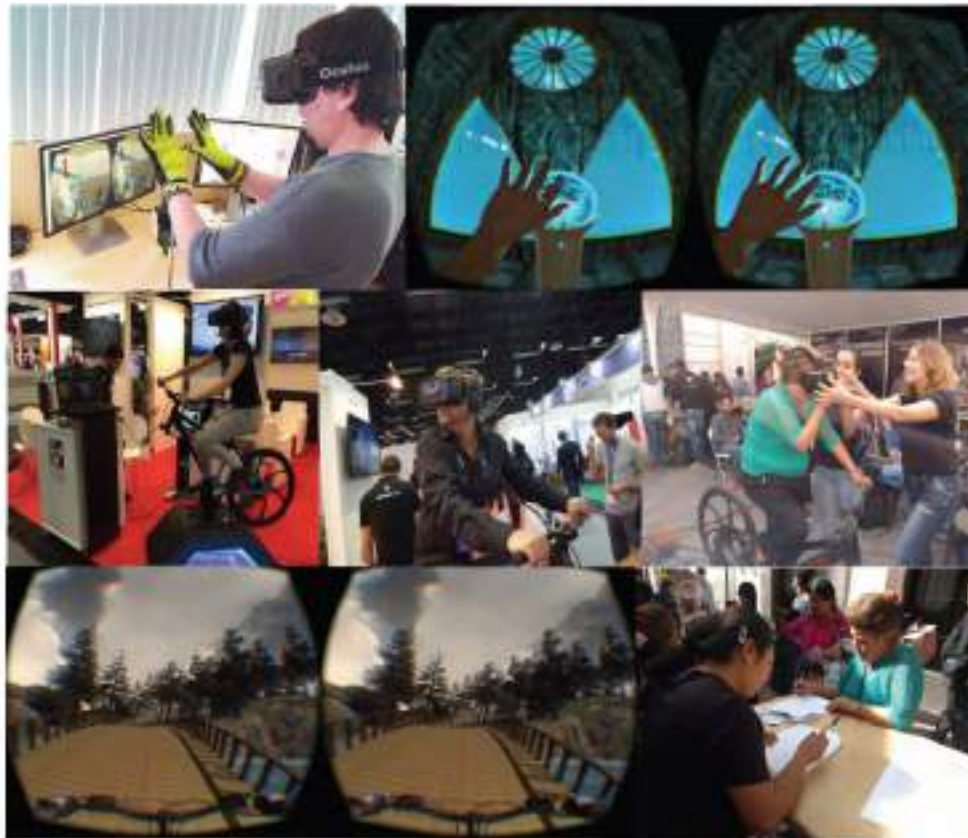


Fig. 5: Etapa de empatizar con el usuario tomadas en las distintas presentaciones de Rifado Studio [GAMESCOM 2016 y EXPOCYTEQ 2016].

Fuente: Elaboración propia.

Durante las distintas exhibiciones del Rifado estudio (Empresa incubada en la Universidad Autónoma de Querétaro de desarrollo de simuladores y aplicaciones inmersivas de realidad virtual), como se observa en la figura 5, que van desde el ámbito local en muestras tecnológicas como EXPOCYTEQ 2016 (Exposición de ciencia y tecnología del estado de Querétaro) hasta internacionales como la GAMESCOM 2016 (convención europea de videojuegos y desarrolladores) situada en Alemania, se

evaluaron a usuarios de RV para conocer sus necesidades y comentarios del tema, mediante el uso de entrevistas PQ (*Presence Questionnaire*) e inmersión ITQ (*Immersive Tendencies Questionnaire*) (Witmer & Singer, 1998) así como observación encubierta. Al mismo tiempo, se les propuso la idea de la introducción de un dispositivo háptico para el uso activo de las manos y se recopiló la información obtenida.

Categoría	Concepto	Descripción
Seguimiento natural de la mano	Dimensiones	Espacio de trabajo no menor de 2m esféricos (cables de alimentación y control).
	Movimiento	11 grados de libertad (2 para cada dedo y 3 para pulgar).
	Función	Captura de movimiento mediante sensores IMU (inertial measurement unit).
Interacción con usuario	Material	Permitir la transpiración de la piel en la zona de la palma.
	Señales y control	Respuesta en tiempo real al ambiente virtual.
	Uso	Cubrir superficie de cuatro dedos (índice, medio, anular y meñique) y del pulgar de la mano para lograr movimiento de pinza con cada uno de ellos.
	Diseño conceptual	Estética de concepto basado en tendencias de ciencia ficción.
Ergonomía	Dimensiones	Peso máximo de 450 g.
	Dimensiones	3 tamaños estándar (chico, mediano y grande) basados en la norma DIN 33402-2 y en estudios antropométricos de la población latinoamericana.
Retroalimentación háptica	Función	Limitar el movimiento en los dedos con uso de actuadores (servomotores).
Compatibilidad	Energía	Alimentación eléctrica doméstica 110 VAC 60 Hz.
	Señales y control	Comunicación USB 2.0 o posterior.
	Uso	Compatible con equipo no altamente especializado (PC Windows 7 - intel core i3 - 4Gb Ram en adelante).
	Vida útil y mantenimiento	Actualizable a versiones posteriores de software para posibles mejoras.

Tabla 2: Parámetros y requerimientos de diseño para interfaz háptica.

Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en la tabla 2, se clasificó esta información en cinco diferentes categorías que se tomaron como parámetros para el diseño de la interfaz. Estas categorías se jerarquizaron según la importancia para el usuario y se les asignaron valores para generar los requerimientos necesarios que dicha interfaz debe de poseer. Como se observa, el seguimiento del movimiento natural de la mano así como la interacción con el usuario, representan dos de las categorías mas importantes de los parámetros de diseño ya que permitirán al usuario un manejo nato de la interfaz y por consiguiente un grado mayor de inmersión en los sistemas virtuales.

Sumado a lo anterior, los proyectos y productos existentes en la actualidad (comparados en la tabla 1) se centran en el desarrollo tecnológico y en la complejidad de los algoritmos de procesamiento, dejando a un lado la interacción directa con el usuario, siendo este último quien se debe acoplar al producto en lugar de que el producto se acople a él.

Por último, la mayoría de dichos productos sólo brindan retroalimentación táctil y no retroalimentación de fuerza dejando fuera la posibilidad de manipular objetos además de que su uso requiere de equipo altamente especializado para su correcto funcionamiento elevando su costo y la complejidad de su operación brindando una oportunidad de desarrollo de un nuevo producto centrado en el usuario y que posea los requerimientos arriba mencionados para satisfacer las necesidades que los productos existentes no cumplen.

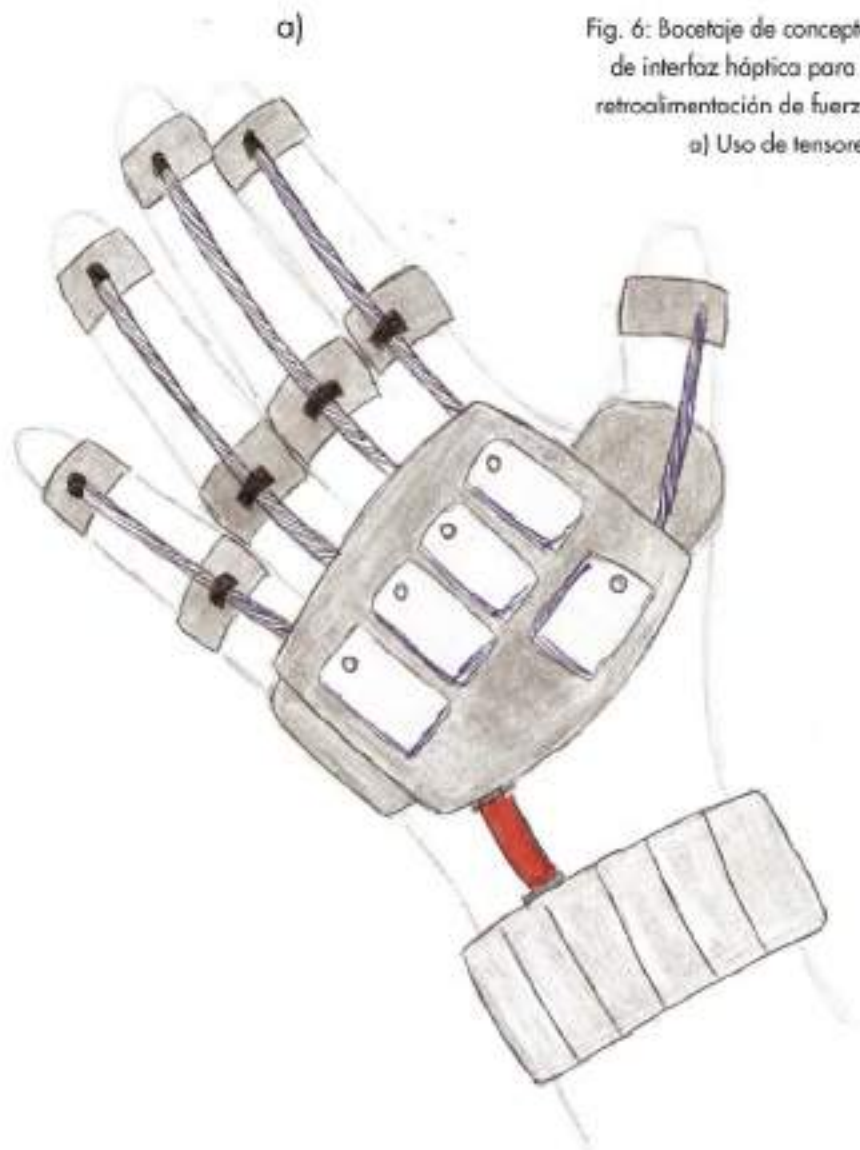
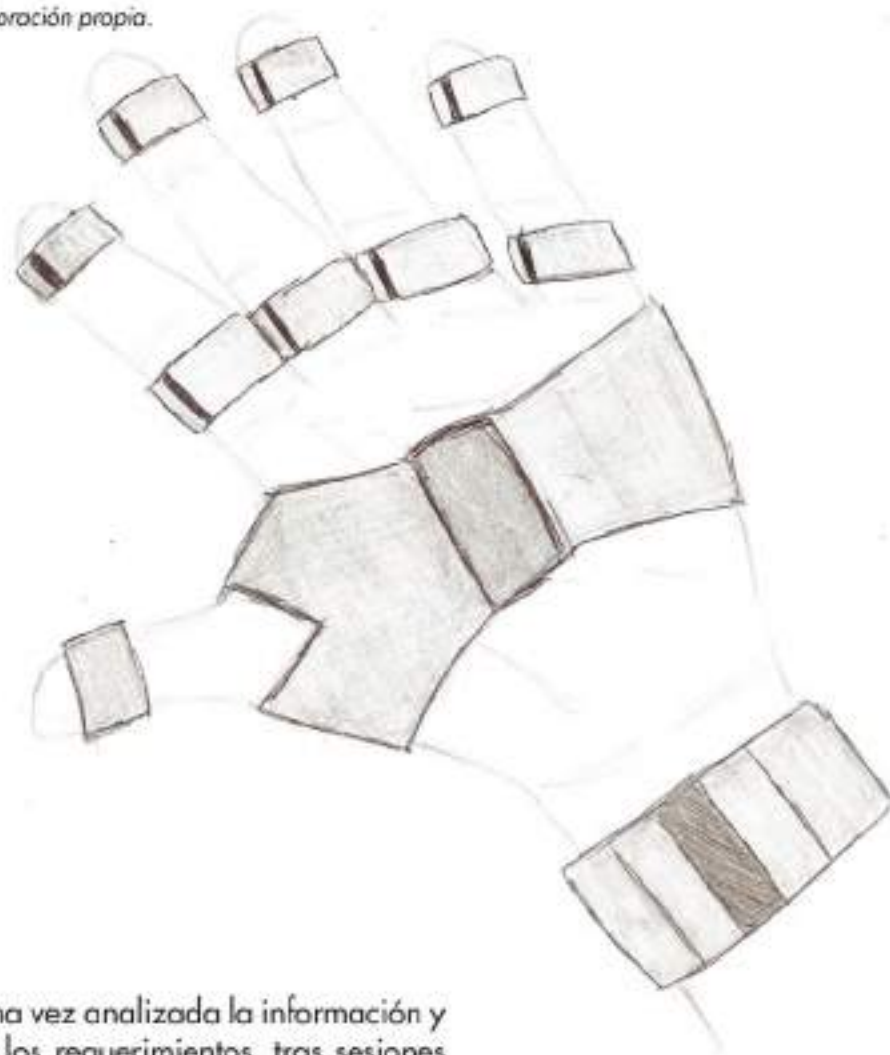


Fig. 6: Bocetaje de conceptos de interfaz háptica para la retroalimentación de fuerza.
a) Uso de sensores.

Fuente: Elaboración propia.



Una vez analizada la información y definidos los requerimientos, tras sesiones de brainstorming, sesiones de grupos de enfoque y técnicas como los cinco porqué, se desarrollaron diferentes bocetos de conceptos pasando por distintas propuestas como se puede observar en la figura 6.

b)

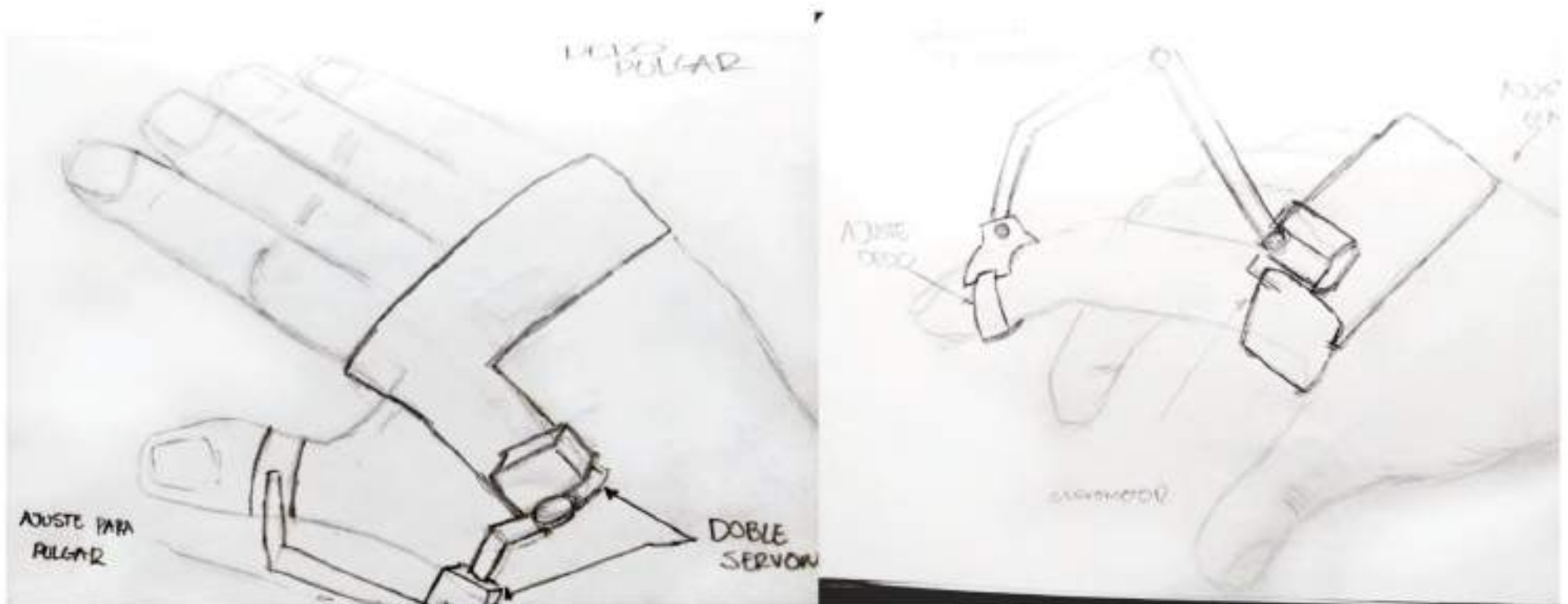


Fig. 6: Boceto de conceptos de interfaz háptica para la retroalimentación de fuerza.
b) Uso de servomotores.

Fuente: Elaboración propia.

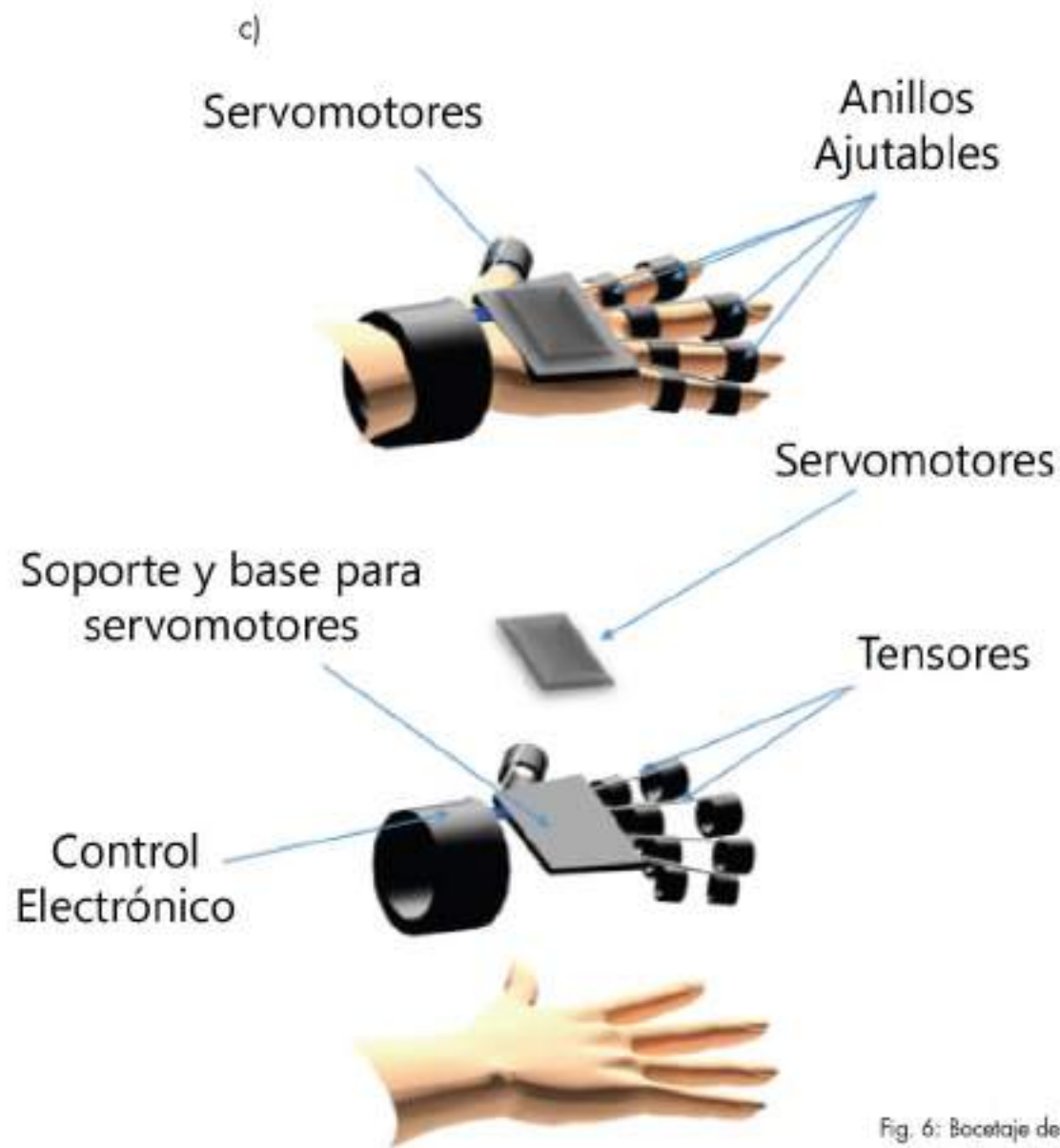


Fig. 6: Bocetaje de conceptos de interfaz háptica para la retroalimentación de fuerza.
c) Combinación de tensores y servomotores.

Fuente: Elaboración propia.



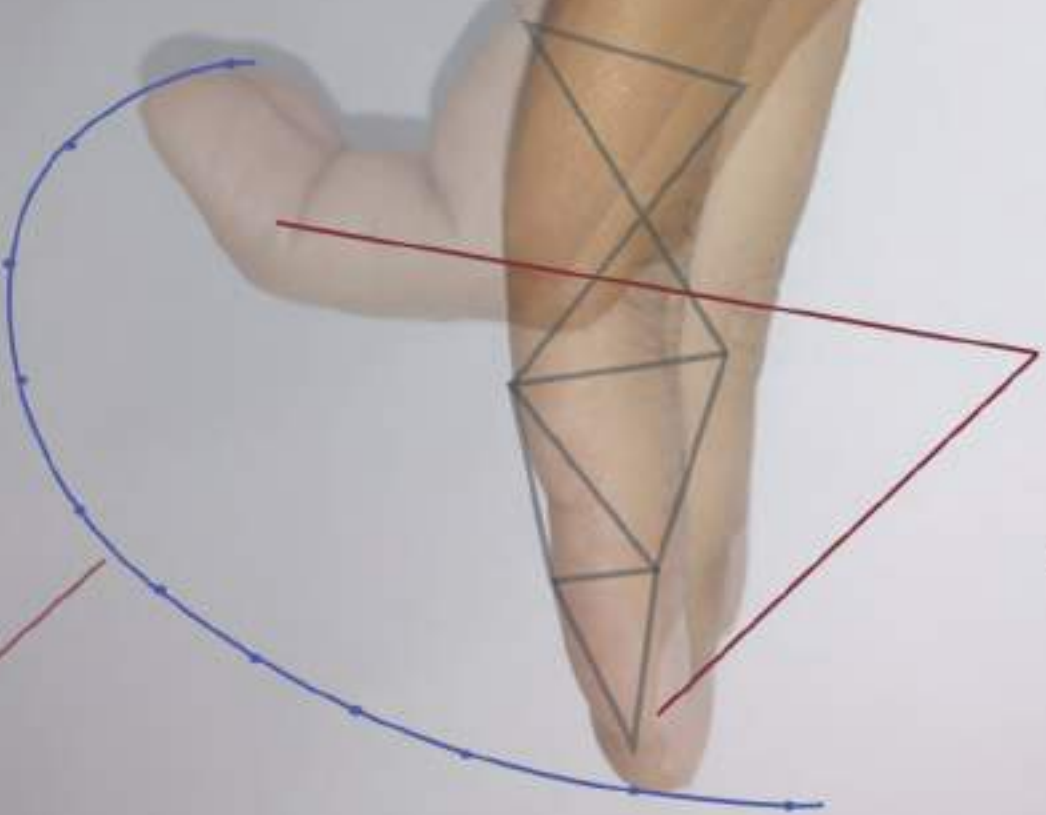
Fig. 7: Prototipado rápido de conceptos de interfaz háptica.

Fuente: Elaboración propia.

Después de la sesión para generar ideas, conceptos y bocetos, el equipo de trabajo seleccionó los modelos más apegados a la resolución de los problemas encontrados en la fase de empatía y se llevaron a la fase de prototipado para su posterior materialización, se utilizaron técnicas de modelado en 3D con software CAD tales como, Solid Works, Rhinoceros 3D y Autodesk Fusion 360 y tecnologías como impresión 3D. En la figura 7 se pueden observar algunos de los prototipos generados.

Estos prototipos se evaluaron en las categorías de usabilidad, libertad de movimiento, estética y área de acoplamiento del sistema de control electrónico mediante la observación y entrevistas a los sujetos de prueba [2] que representan al usuario final.

Movimiento de mano en agarre



Trayectoria de movimiento de dedo

Fig. 8: Trayectoria de movimiento de los dedos en posición de agarre.

Fuente: *Elaboración propia.*

RESULTADOS

Después de varias iteraciones del proceso de diseño basado en la metodología anteriormente descrita, se llegó a un concepto final. El diseño del exoesqueleto consiste en un mecanismo de barras interconectadas que sigue el movimiento natural de la mano, mediante un eslabón curvo conectado al mecanismo de un extremo y al servomotor del otro para seguir la trayectoria descrita por los dedos de las manos mostrada en la figura 8.

SketchUP

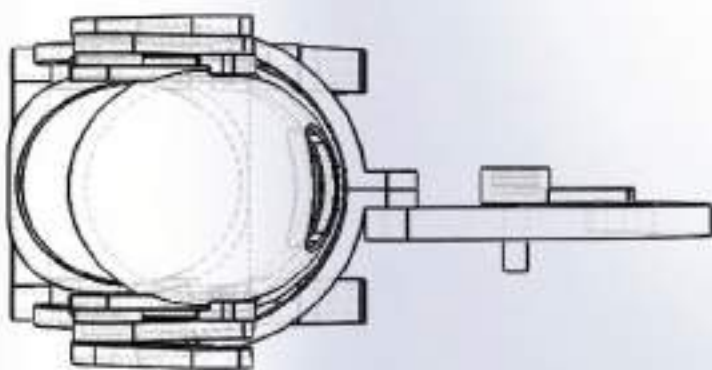
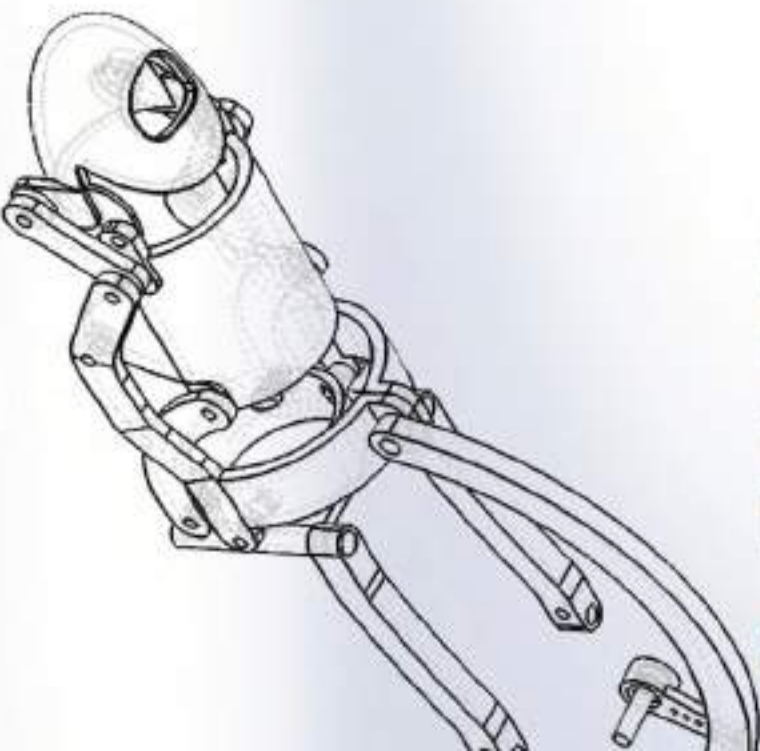
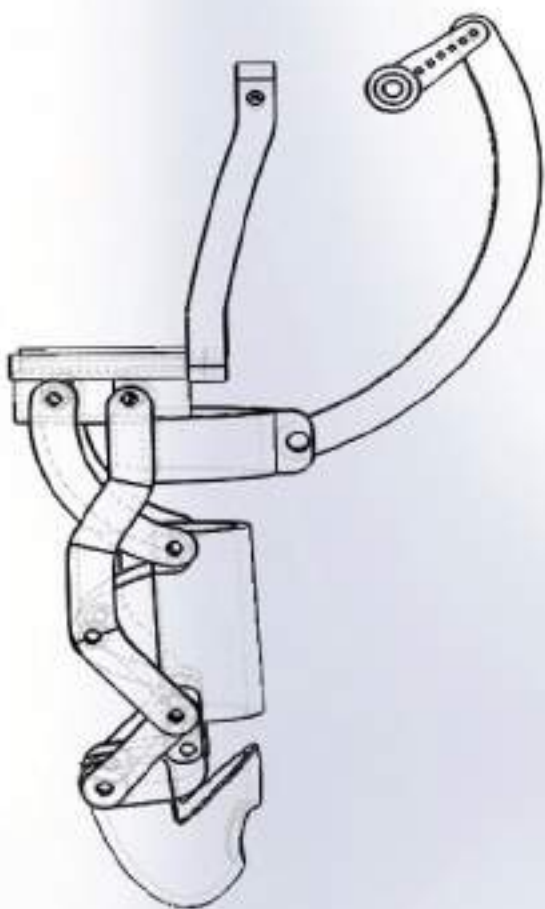
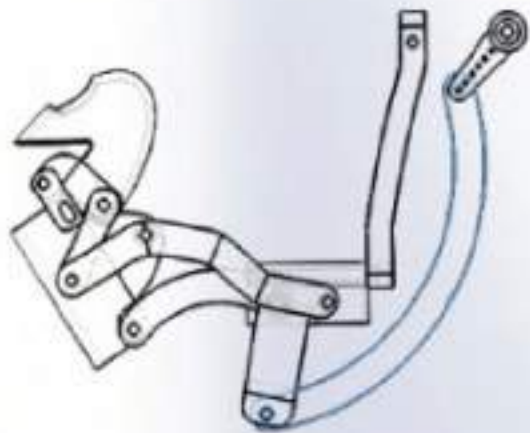


Fig. 9: Modelo 3D de dedo de mecanismo propuesto y estudio de movimiento en Solid Works.

Fuente: Elaboración propia.

Para calcular las distancias de las barras se propusieron tres tamaños estándar (chico, mediano y grande) basados en las medidas antropométricas de la norma DIN33 4022-2 para conocer el tamaño promedio de las manos ya que no hay estudios antropométricos oficiales en México. Las dimensiones planteadas en la norma se compararon con estudios de muestras latinoamericanas (Ávila, Prado, & Gonzáles, 2007) en donde las dimensiones de la norma y los estudios coincidían en los percentiles del 5 y 95% tomados como referencia para los tres tamaños propuestos.

Una vez determinadas las distancias y a través del estudio cinemático del mecanismo se propuso la conformación mostrada en la figura 9. El mismo estudio se realizó también para el resto de los dedos con sus respectivas distancias y se montó el exoesqueleto completo como se aprecia en la figura 10.

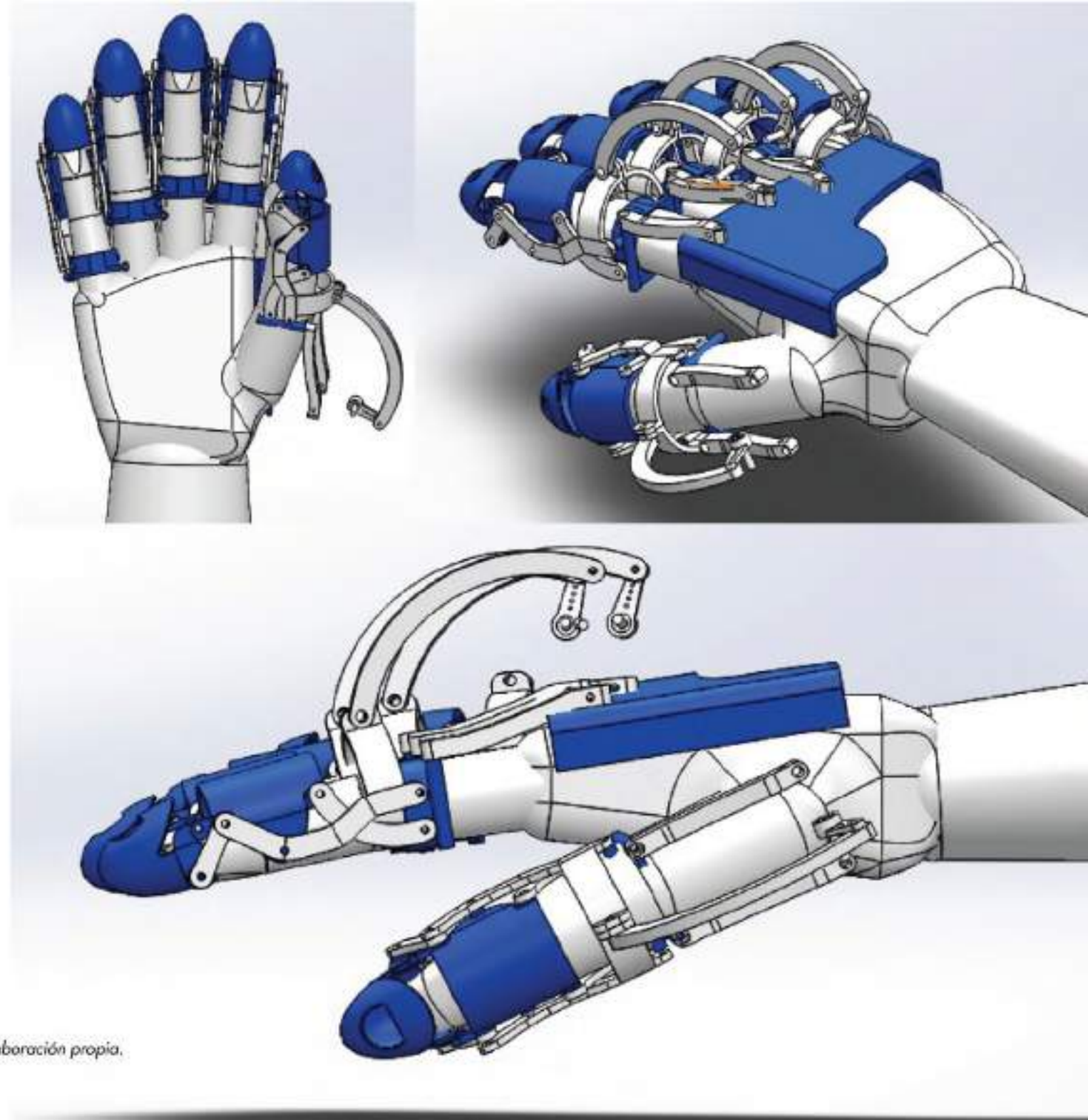


Fig. 10: Modelo de montaje de exoesqueleto mecánico en mano.

Fuente: Elaboración propia.

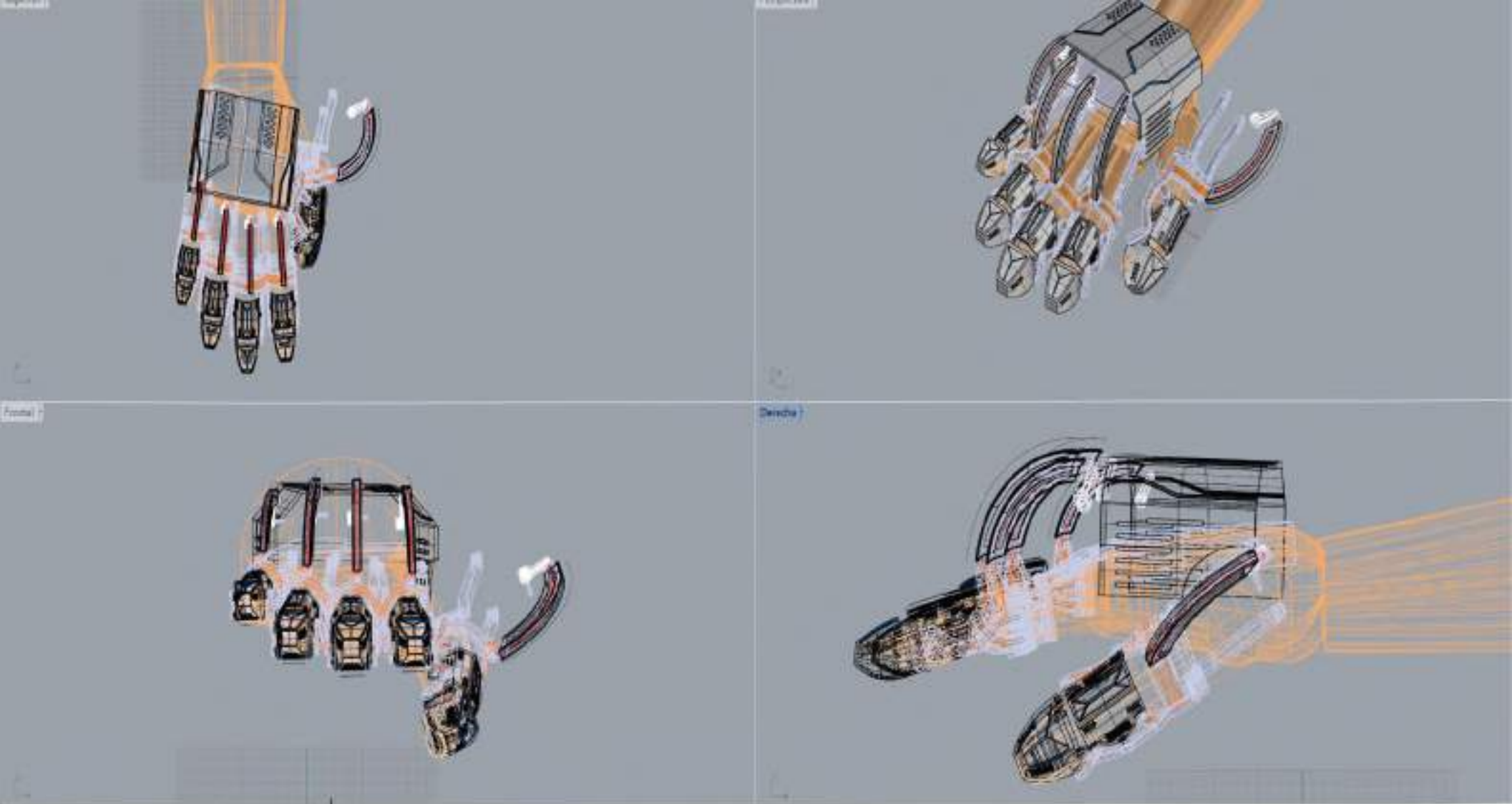


Fig. 11: Modelo de concepto futurista para la parte estética en Rhinoceros 3D.

Fuente: *Elaboración propia.*


Mediante estudios de movimiento en Solid Works se validó el movimiento del mecanismo de barras para la correcta transmisión del mismo para finalmente generar un concepto de diseño futurista conforme a la expectativa del usuario. El concepto está basado en tendencias de ciencia ficción para generar un producto coherente al mundo virtual y a la

conformación estética que los usuarios en su mayoría sugirieron en la fase de entrevistas. En la figura 11 se puede observar dicho concepto, así como la carcasa que recubrirá los servomotores y el control electrónico en la fase de modelo utilizando el software Rhinoceros 3D. A su vez, en la figura 12 se muestran renders del concepto final del exoesqueleto.

Fig. 12: Render de concepto de diseño basado en ciencia ficción.

Fuente: Elaboración propia.





Entre las principales ventajas que el diseño anteriormente descrito propone destacan las siguientes:

- Diseño ergonómico basado en las medidas antropométricas para la fácil adaptación al usuario.
- Diseño mecánico de barras que sigue el movimiento natural de los dedos logrando una sensación nata de uso.
- Uso de un actuador por dedo, facilitando así, su control electrónico responsable de la retroalimentación de fuerza, reduciendo el costo y la cantidad datos de procesamiento para asegurar su funcionamiento en equipos que no son altamente especializados.
- Diseño estético basado en corrientes de ciencia ficción para una mayor aceptación del usuario de realidad virtual.

CONCLUSIONES

El desarrollo de nuevos proyectos y productos basados en tecnología, además de la aplicación de la ciencia, debe enfocarse y centrarse en los usuarios ya que estos dictaminan si el producto será exitoso o no, si cubre sus necesidades y expectativas, así como si crea un lazo emocional hacia ellos, en cuyo caso su deseo por él aumentará significativamente, lo que se traduce en una mayor aceptación y ventas.

Las técnicas y metodologías centradas en el usuario y no en la tecnología se requieren para la correcta integración de todos los actores involucrados en el proceso de diseño, ya que además de considerar el cómo, se centra en el por qué, lo que brindará una visión más amplia del problema así como una solución eficaz a él sin dejar de lado los aspectos de uso, función, estética y forma, generando soluciones integrales y no parciales a necesidades bien definidas extraídas directamente del usuario final. Por esta razón, todo proyecto -cualquiera que sea su naturaleza- debe integrar desde su fase inicial al diseño no solo en términos estéticos sino de estrategia, una visión clara del objetivo asegura un producto exitoso en lugar de aplicaciones obvias de la tecnología que satisfacen problemas inexistentes.

LIMITACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Por la naturaleza de la revista y del proyecto expuesto en el artículo solo se toma en consideración el diseño mecánico del exoesqueleto y se deja a un lado la parte de control electrónico, procesamiento de datos y captura de movimiento para la retroalimentación así como la integración de los mismos.

El proyecto tiene el objetivo de brindar una herramienta para evaluar la inmersión generada en la inclusión de un tercer sentido dejando así las bases para trabajos posteriores para afinar la características técnicas de la captura de movimiento y el aumento de grados de libertad para la inclusión de nuevos actuadores y sistemas de tracking más sofisticados. Así como la generación de contenido para diferentes aplicaciones basadas en la SDK que se proporcionará para el uso del dispositivo.

NOTAS ACLARATORIAS

[1] La inmersión lograda calificada en la tabla por signos "+" y "-" está sujeta a criterio del autor con base en las publicaciones de los proyectos y productos mostrados en la tabla, ya que no existe un experimento comparativo de cada uno de ellos. Se limitó a las conclusiones mostradas en cada una de las publicaciones por separado.

[2] Muestra de dos grupos de 25 personas escogidas al azar y mayores de edad, que conforman la comunidad de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ) sometidos a pruebas de uso de sistemas de RV primeramente sin la integración de la interfaz háptica y posteriormente con ella para después contestar los cuestionarios PQ (Presence Questionnaire) e inmersión ITQ (Immersive Tendencies Questionnaire) propuestas por Witmer y Singer.

REFERENCIAS

Alexander, J. M., Johnson, K. E., & Schreiber, J. B. (2002). Knowledge is not everything: Analysis of children's performance on a haptic comparison task. *Journal of Experimental Child Psychology*, 82(4), 341-366. [http://doi.org/10.1016/S0022-0965\(02\)00100-5](http://doi.org/10.1016/S0022-0965(02)00100-5)

Ávila, R., Prado, L., & Gonzáles, E. (2007). Dimensiones antropométricas de población latinoamericana: México, Cuba, Colombia, Chile.

BBVA Innovation Center. (2015). TOTAL IMMERSION IN A REAL WORLD INCRESIGLY. Ebook Virtual Reality, (SERIE INNOVATION TRENDS). Retrieved from <http://www.centrodeinnovacionbbva.com/en/ebook/ebook-virtual-reality>

Bowman, D. a, McMahan, R. P. (2007). Virtual Reality: How Much Immersion Is Enough? (Cover story). *Computer*, 40(7), 36-43. <http://doi.org/10.1109/MC.2007.257>

Burdea, G. C., Lin, M. C., Ribarsky, W., & Watson, B. (2005). Guest editorial: Special issue on haptics, virtual, and augmented reality. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 11(6), 611-612. <http://doi.org/10.1109/TVCG.2005.102>

Bystrom, K.-E., Barfield, W., & Hendrix, C. (1999). A conceptual model of the sense of presence in virtual environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 8(2), 241-244.

Corbetta, D., Imeri, F., & Gatti, R. (2015). Rehabilitation that incorporates virtual reality is more effective than standard rehabilitation for improving walking speed, balance and mobility after stroke: a systematic review. *Journal of Physiotherapy*, 61(3), 117-24. <http://doi.org/10.1016/j.jphys.2015.05.017>

Cyberglove Systems. (2015). No Title. Retrieved from <http://www.cyberglovesystems.com/>

Gu, X., Zhang, Y., Sun, W., Bian, Y., Zhou, D., & Kristensson, P. O. (2016). Dexmo: An Inexpensive and Lightweight Mechanical Exoskeleton for Motion Capture and Force Feedback in VR. *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '16*, 1991-1995. <http://doi.org/10.1145/2858036.2858487>

Guttentag, D. A. (2010). Virtual reality: Applications and implications for tourism. *Tourism Management*, 31(5), 637-651. <http://doi.org/10.1016/j.tourman.2009.07.003>

- Massie, T. H. (1994). The PHANTOM Haptic Interface: A Device for Probing Virtual Objects. Proceedings of the ASME Winter Annual Meeting, Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems.
- Mihelj, M., Novak, D., & Beguš, S. (1999). Virtual reality technology and its industrial applications. *Control Engineering Practice* (Vol. 7). [http://doi.org/10.1016/S0967-0661\(99\)00114-8](http://doi.org/10.1016/S0967-0661(99)00114-8)
- Mihelj, M., & Podobnik, J. (2012). Haptics for Virtual Reality and Teleoperation. SPRINGER. http://doi.org/10.1007/978-94-007-5718-9_1
- Minsky, M., Ming, O., Steele, O., Brooks, F.P., & Behensky, M. (1990). Feeling and seeing: issues in force display. *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, 24(2), 235–241. <http://doi.org/10.1145/91394.91451>
- Mujber, T. S., Szecsi, T., & Hashmi, M. S. J. (2004). Virtual reality applications in manufacturing process simulation. *Journal of Materials Processing Technology*, 155–156(1–3), 1834–1838. <http://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2004.04.401>
- Plattner, H., Meinel, C., & Leifer, L. (2011). Understanding Innovation. Hasso Plattner Institut. <http://doi.org/10.1007/978-3-642-13757-0>
- Samur, E. (2012). Performance metrics for haptic interfaces. Springer London. http://doi.org/10.10007/978-1-4471-4225-6_1
- Sherman, W. R., & Craig, A. B. (2003). *Understanding Virtual Reality: Interface, Application and Design*. (U. of California, Ed.). San Francisco: MORGAN KAUFMANN.
- Slater, M. (2003). A Note on Presence Terminology. *Emotion*, 3, 1–5.
- Slater, M., & Wilbur, S. (1997). A Framework for Immersive Virtual Environments (FIVE): Speculations on the Role of Presence in Virtual Environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(6), 603–616. <http://doi.org/10.1007/s10750-008-9541-7>
- Srivastava, K., Chaudhury, S., & Das, R. (2014). Virtual reality applications in mental health: Challenges and perspectives. *Industrial Psychiatry Journal*, 23(2), 83. <http://doi.org/10.4103/0972-6748.151666>
- Waterworth, J. A., & Waterworth, E. L. (2010). The Meaning of Presence. *Iterative Institute*, 58(1), 5–6. <http://doi.org/10.1111/1468-4446.12187>
- Witmer, B. G., & Singer, M. J. (1998). Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire. *Presence: Teleoper. Virtual Environ.*, 7(3), 225–240. <http://doi.org/10.1162/105474698565686>
- Holden, M. K. (2005). Virtual environments for motor rehabilitation: review. *Cyberpsychology & Behavior: The Impact of the Internet, Multimedia and Virtual Reality on Behavior and Society*, 8(3), 187–211–219. <http://doi.org/10.1089/cpb.2005.8.187>
- Kim, N. W., & Lee, H. J. (2013). Developing of vision-based virtual combat simulator. 2013 International Conference on IT Convergence and Security, ICITCS 2013, 1–4. <http://doi.org/10.1109/ICITCS.2013.6717823>
- Ludlow, B. L. (2015). Virtual Reality: Emerging Applications and Future Directions. *Rural Special Education Quarterly*, 34(3), 3–10.