

Evaluación de tecnologías para ingeniería inversa en reconstrucción facial.

Autores

Estud. D.I. Sully Calderón, Sully.calderon1@gmail.com
Universidad Industrial de Santander, Colombia

Estud. D.I. María Fernanda Camargo Rey, mafecamargo94@gmail.com
Universidad Industrial de Santander, Colombia

Dra. C. Clara Isabel López Gualdrón, Clalogu@uis.edu.co
Universidad Industrial de Santander, Colombia

RESUMEN

En las últimas décadas por medio la ingeniería inversa se ha facilitado la obtención de modelos virtuales, mediante herramientas de tecnología 3D, para la realización de reconstrucciones tridimensionales, facilitando modelos de referencia para el diseño de productos industriales e investigaciones en campos como biomédico. Con el tiempo esta tecnología se ha hecho más accesible para investigación en instituciones académicas, por ello se hace necesario conocer las características respecto a los productos existentes en el mercado.

El principal propósito de este trabajo de investigación consistió en realizar un estudio basado en ingeniería inversa para evaluar comparativamente mediante procesos de experimentación, la precisión y las condiciones requeridas para la obtención de mallas 3D virtuales de rostro humano, a ser utilizado como modelo de referencia para el diseño de marcos de gafas a medida. Para el desarrollo del estudio se generaron los modelos realizando el proceso de escaneo para la obtención de las mallas de rostro utilizando en cada participante los tres tipos de tecnologías que funcionan mediante procesos de reflexión de luz generada por rayos láser (azul, verde y blanco): *Go! Scan*®, *Sense*® y *Kinect*.

Las mallas se evaluaron realizando una superposición entre ellas, midiendo la diferencia entre las longitudes correspondientes a la sección transversal de sien a sien; posteriormente fueron comparadas con dimensiones lineales tomadas mediante instrumentos de medición (calibradores). Los principales resultados del estudio permitieron identificar las especificaciones requeridas por cada tecnología para la captura de datos bajo condiciones como: iluminación, superficies textura. Finalmente se realizó un proceso de gestión de conocimiento sobre los resultados experimentales generándose un protocolo orientado a ser una guía para la toma adecuada de decisiones según el tipo de tecnología implementado.

Palabras Claves: escáner 3D, gafas, reconocimiento facial, evaluación de tecnologías, antropometría, desarrollo de nuevo producto.

Abstract

Recent decades, through reverse engineering has been facilitated the obtaining of virtual models, using 3D technology tools, for the performing of three-dimensional reconstructions, facilitating reference models for the design of industrial products and research in fields such as biomedical. Over time this technology has become more accessible for research in academic institutions, so it is necessary to know the characteristics regarding the products existing in the market.

The main purpose of this research work was to carry out a study based on reverse engineering to evaluate comparatively through experimental processes, the precision and the conditions required to obtain 3D virtual meshes of human face, to be used as reference model for the design of bespoke glasses frames. For the development of the study the models were generated carrying out the scanning process to obtain the face meshes using in each participant the three types of technologies that work by processes of light reflection generated by laser (blue, green and white): Go! Scan®, Sense® and Kinect®.

The meshes were evaluated by making an overlap between them, measuring the difference among the lengths corresponding to the cross section of temple to temple; later they were compared with linear dimensions taken by measuring instruments (calibrators). The main results of the study allowing to identify the specifications required by each technology for data capture under conditions such as: lighting and texture surfaces. Finally a process of knowledge management was performed on the experimental results generating a protocol oriented to be a guide for the appropriate decision making according to the type of technology implemented.

Key Words: 3D scanner, Glasses, Facial recognition, Technology assessment, Anthropometry, NPD.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de nuevos productos ha sido uno de los grandes enfoques de la industria para generar diferenciación y oportunidades en el mercado [1]. De esta manera los procesos de innovación tanto en técnicas para el desarrollo, como en configuración son de suma importancia, dado que contribuyen en generar ventaja competitiva a nivel empresarial [2]. De igual forma estos procesos de innovación han facilitado los medios para proporcionar soluciones a problemas recurrentes en ciertos grupos especializados de usuarios que no se logran enmarcar en la población a la que va dirigida el diseño [3]. Es decir, el grupo poblacional al que se dirigen los productos industriales poseen ciertas características en las que se buscan enmarcar gran cantidad de usuarios para solucionar una problemática.

El garantizar soluciones de diseño que satisfagan necesidades específicas a grupos específicos, es un aspecto que requiere análisis, dado que no se puede categorizar, estandarizar o estipular patrones generalizados, utilizando métodos convencionales. Desde la visión de diseño el proceso de desarrollo de nuevo producto conocido como *New Product Development* (NPD), es enfocado en la creación de valor por medio de la apropiación y el desarrollo tecnológico [4]. En el marco de NPD se han dado diferentes enfoques [5] uno de ellos es la diversificación de los clientes donde se tienen en cuenta una población en particular y los usuarios con necesidades específicas, estructurando procesos orientados a abarcar la mayoría de necesidades posibles; generando soluciones enfocadas a la personalización [6]. Esta perspectiva del diseño conlleva no solo mejorar en la producción, sino también en la concepción del producto, requiriendo de implementación de técnicas o tecnologías, mejorando los recursos que se ofrecen y el avance en competitividad [7].

Buscando optimizar procesos para la configuración de producto se han implementado diversas técnicas, una de ellas es la ingeniería inversa, la cual se encarga de evaluar los principios básicos tanto del problema como de las soluciones generadas en casos similares. Para estos procesos se implementan recursos de alta tecnología [8], que con el tiempo se han ido adaptando para hacerlos más accesibles, como es el caso de los escáneres para reconstrucción 3D, siendo una herramienta que poco a poco ha ido tomando fuerza para reconstruir elementos de gran complejidad [9].

Este tipo de tecnologías funcionan mediante procesos de reflexión de luz generada por rayos láser (azul, verde y blanco), incorporación de espejos especializados y una cámara: A partir de estos elementos se genera una nube de puntos que mediante el cálculo de la distancia en

la incidencia de la luz con el objeto se generan unos puntos de referencia los cuales son traducidos por un *software* especializado [8]. En el mercado se encuentran múltiples escáneres con características específicas[10], que independiente de la técnica de captura utilizada generan una nube de puntos, que posteriormente es convertida en una malla poligonal, la posición exacta de cada punto es dada por medio de un software e interpretada mediante un proceso de triangulación [11], entre ellos conforman un modelo tridimensional de un objeto en el mundo real, su fidelidad depende de las mediciones semejantes al objeto que serán traducidas en polígonos y la cantidad necesaria para replicar una malla de buena calidad[8].

A pesar que los sistemas de adquisición de imágenes tridimensionales han alcanzado un alto grado de precisión, permitiendo que en la actualidad se puedan realizar análisis de imágenes faciales utilizando este tipo de tecnologías [12], por ello se hace pertinente el establecimiento de parámetros de precisión entre tecnologías de diferentes precios, creando un precedente para la toma de decisiones respecto a cuál escáner brinda un mejor apoyo a la hora de reconstrucciones virtuales en tareas específicas para NPD [9]. En el desarrollo de reconstrucciones faciales virtuales, se realizó una medición antropométrica como variable dependiente, para establecer si existe una diferencia significativa entre las mallas reconstruidas según el escáner utilizado.

El artículo se estructura de la siguiente forma; materiales y métodos donde se describirá el proceso que se llevó a cabo para la toma de las muestras y el protocolo implementado en el proceso, además de una descripción técnica de las tecnologías utilizadas. En el proceso se encontraron diversos datos que le servirán de guía para replicar el experimento. Posteriormente en el análisis de resultados y la discusión se menciona la precisión obtenida respecto a medidas longitudinales físicas, estas se realizarán mediante la comparación con tres escáneres respecto a las medidas que se obtienen con un calibrador, siendo la referencia tomada directamente del rostro de las personas, que posteriormente se evaluarán mediante procesos de análisis estadístico.

Contexto del estudio

El origen del estudio está relacionado con una de las áreas de investigación del grupo de investigación INTERFAZ en el que la ingeniería inversa ha sido aplicada en procesos de NPD, como una herramienta fundamental para generar modelos de referencia virtual que faciliten el proceso de desarrollo de producto a la medida. La implementación de estos recursos se ha hecho necesarios en procesos para la configuración de marcos para gafas que son estandarizados, puesto que este tipo de productos no responde satisfactoriamente a todos los grupos poblacionales y menos aún a personas que requieran un diseño del marco adaptable de forma específica a su morfología facial o antropométrica[13].

En este tipo de situaciones, las ópticas no pueden ofrecer un producto personalizado enfocado en marcos o armazones para lentes a un público especial, como personas con asimetrías morfológicas o malformaciones genéticas [13]. Con base en el panorama expuesto y considerando que la aparición de software para diseño e ingeniería posibilita la conceptualización de nuevos modelos de manera tridimensional, permitiendo a los diseñadores experimentar con sus desarrollos y proponer posibles variaciones o mejoras, que ayudan a generar una mayor cantidad de exploraciones formales y propiciando una mayor definición de los conceptos [11] evitando generar costos adicionales al proceso de fabricación. Por lo tanto, este experimento se proyectó solo como base investigativa para establecer la tecnología de ingeniería inversa para la generación de modelos virtuales de referencia que permitan el diseño de marcos adaptables a las condiciones morfológicas faciales específicas, que no pueden ser solucionadas con un armazón de gafas estándar.

En síntesis, el propósito del estudio consistió en definir una técnica de reconstrucción, cuyo modelo virtual 3D sea preciso, dado que se requiere utilizar en futuras aplicaciones los modelos virtuales como referencia para el diseño de marcos de gafas.

Materiales y métodos

En el presente estudio se revisaron las características técnicas respecto a la precisión de las mallas poligonales que generan los escáneres. El *Go! Scan* (gama alta), se caracteriza por ser una tecnología de alta Fiabilidad en la construcción de mallas poligonales con abundante textura y detalle, pues usa un sistema de posicionamiento automático que contribuye a un reconocimiento más preciso de las superficies. El siguiente escáner evaluado fue el *3D Sense* perteneciente a la marca *3D Systems*, este se caracteriza por ser una opción relativamente económica (gama media); es una tecnología portable, lo que permite al usuario tener una mejor interacción cuando se están realizando las reconstrucciones. Esta tecnología es compatible con otras herramientas software libre, permitiendo un mejor rendimiento en cuanto a obtención de malla. El último escáner que se tuvo en cuenta fue el *Kinect* marca *Xbox*, siendo la opción más económica (gama baja) y accesible; con este escáner se logran hacer reconstrucciones virtuales tanto de objetos como de personas en color, lo que permite identificar rasgos específicos en las reconstrucciones virtuales.

El desarrollo del experimento se enmarca en procesos de ingeniería inversa y el diseño industrial mediante la comunicación empresa-universidad, puesto que una óptica expresa al semillero del grupo de investigación INTERFAZ, su necesidad de respuesta a la configuración de gafas personalizadas para usuarios que presenten algún tipo de malformaciones o defectos que sean de difícil adaptación a las opciones tradicionales, generando incomodidades en la persona. El desarrollo de toma de datos se enfoca en el área del rostro especialmente en la zona media de la cara donde se ubican las gafas, teniendo como referencia puntos específicos que interactúan con las gafas.

Las especificaciones técnicas de los diferentes escáneres influyen en el proceso de reconstrucción virtual esto depende de la forma como se adquieren los datos, el tipo de conexiones y los procesos de configuración, dado que corresponden a los requerimientos técnicos y de software que se requieran; En la tabla 1 se hace una descripción comparativa de las tecnologías según sus especificaciones técnicas.

Escáner	Go!Scan[14]	3DSense[15]	Kinect[16]
Métodos de Posicionamiento	Geometría, color u objetivos	Geometría, color	Geometría, Color y Sonido
Área de Escaneado	143 x 108 mm (5.6 in x 4.3 in)	Min: 0.2m x 0.2m x 0.2m Max: 3m x 3m x 3m	1,8 – 3,6 m
Distancia de Seguridad	380 mm (15 in.)	Min: 0.35m	0,6 m
Profundidad de Campo	100 mm (4 in.)	A 0.5 m es de 1mm	-
Alcance del Tamaño de las Piezas (recomendado)	0.05 – 0.5 m (2 – 20 in.)	Min: 0.35m Max: 3m	0.5 – 4.5 m
Resolución de la Textura	50 to 250 DPI	240(w) x 320(h) px.	1080 p color cámara

Textura de los Colores	24 bits	16 bits	16 bits
Software	VXelements	Sense	KScan
Formato de Salida	.dae, .fbx, .ma, .obj, .ply, .stl, .txt, .wrl, .x3d, .x3dz, .zpr	.stl .obj .ply	.stl
Software Compatible	3D Systems (Geomagic® Solutions), InnovMetric Software (PolyWorks), Dassault Systèmes (CATIA V5 and SolidWorks), PTC (Pro/ENGINEER), Siemens (NX and Solid Edge), Autodesk (Inventor, Alias, 3ds Max, Maya, Softimage).	Sense, KScan	KScan
Peso	930 g (2.05 lb.)	0,59 kg	3,1 lb (1.4 Kg)
Dimensiones	154 x 178 x 235 mm (6 x 7 x 9.2 in.)	17.8mm x 12.9mm x 3.3mm	24,9 cm x 6,6 cm x 6,7 cm
Estándar de Conexión	1 x USB 2.0	USB 2.0 y 3.0	USB 3.0
Rango de Temperaturas de Funcionamiento	15-40 °C (41-104 °F)	10 – 40 °C	10 – 40 °C

Tabla.1. Especificaciones técnicas de los escáneres Go! Scan/ Sense /Kinect.

Con base en el análisis comparativo de las tecnologías y la variable de interés a medir, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Existe algún cambio significativo de la distancia entre sienes si se utiliza una tecnología de reconstrucción virtual con respecto a la medición física?, Para resolver la pregunta de investigación se diseñó el experimento usando como factor de tratamiento las tecnologías de ingeniería inversa. El estudio contó con seis participantes, tres hombres y tres mujeres de diferente contextura, forma de rostro y color de piel, de quienes se obtuvieron 18 mallas poligonales en total, ya que se realizó una toma con cada escáner. El factor precisión de las mallas poligonales fue el objeto de análisis, por lo tanto, se tomó como variable dependiente la distancia longitudinal entre las sienes de la cabeza del usuario (milímetros). Esta medida se tomó en la reconstrucción virtual y fue comparada con la medida original tomada directamente del usuario con un equipo de medición. De este modo se obtuvo una muestra de 24 mediciones.



Fig.1. Usuarios seleccionados para la toma de datos, tres hombres/tres mujeres.

Imágenes publicadas bajo autorización de los usuarios

Para el tratamiento posterior se utilizó el *software* Rhinoceros 5.0 con la herramienta de cota alineada para la toma de las mediciones de las mallas, para el análisis de datos numéricos se propuso un diseño de experimentos completamente al azar por medio de un ANOVA con factor de única respuesta. El ANOVA permite realizar análisis de varianza que contrasta la

hipótesis nula; en este caso que las medidas de una población pueden ser iguales o por el contrario una de estas medidas difiere en su valor significativamente. Este contraste es fundamental en el análisis de resultados experimentales donde se desea comparar un número determinado de tratamientos respecto a una única variable dependiente [17]. Con base en lo anterior se establece que si se realiza un análisis entre mallas de las muestras se podría identificar preliminarmente si hay un efecto en el tipo de tecnología de ingeniería inversa sobre la precisión. Por lo tanto, se plantean las siguientes hipótesis:

- Hipótesis nula H_0 : no existe diferencia de medias
- Hipótesis alternativa: se encuentran diferencias significativas entre los escáneres de gama media y baja en contraste con el escáner de alta gama y las medidas físicas.

El análisis de varianza implementado se encarga de cuantificar si existe una gran variabilidad respecto a la referencia, que en este es la medición física para verificar si se encuentra una diferencia estadísticamente significativa, implementando el estadístico F respecto a la hipótesis nula encontrando que no se puede identificar una variabilidad que represente un valor superior de F superior a 1.

Para evaluación de los datos se debe generar un resumen que ayude a la verificación de en el proceso de valoración estadístico mediante el uso de ANOVA, con ello se establece el rango de valores donde el estudio se considera confiable; verificando que cada vez que se realicen este tipo de mediciones la fiabilidad será suficiente para considerarse como un referente en la toma de decisiones acerca de cuál escáner se asemeja más a las tomas físicas

Resultados

En el caso de la selección de usuarios influyó la morfología del rostro, que son clasificados en tres tipologías; rostros cortos, promedios y alargados [18], por ello cada grupo de usuarios posee personas con las tres tipologías, diversificando la muestra, para evaluar los factores de incidencia en las formas del rostro y si en algún punto la forma de la cara inflúa para el resultado generado por el escáner.

Dado que la veracidad de un resultado depende de la toma correcta de los datos a analizar, se realizaron los siguientes procedimientos para garantizar la captura de datos de calidad, el desarrollo del estudio estuvo definido en tres etapas pre-proceso, proceso y post proceso. En la etapa de pre-proceso se prepararon las tecnologías y a los participantes para iniciar la captura de datos con el escáner. Para ello, se entregó a cada participante un documento con la información pertinente acerca del experimento para su aprobación. Las tomas se hicieron en un mismo espacio de trabajo, por lo cual no se tuvo en cuenta factores como la iluminación del ambiente [19]. Se inició el proceso de toma de medidas directa con calibrador- Medida de sien a sien en la cabeza. Posteriormente se realizó el ajuste de las opciones de captura en el software según se requiriera en cada escáner; se prepararon a los participantes para la toma de la muestra, estableciendo la ubicación del usuario a una distancia pertinente del escáner (enfoque).



-Fig.2. Se puede observar el proceso de toma de datos de manera virtual con una usuaria con los escáneres, en orden desde la izq. Go! Scan, Sense y Kinect, y con el otro usuario como se realizó la toma de datos con el calibrador.

El usuario se colocó en postura sedente; se realizaron procesos previos a la toma de la muestra para reducir el brillo del rostro; en el caso del *Go! Scan*, posteriormente se ubicaron los targets como referencia para mantener el seguimiento por parte del escáner de manera constante. En la etapa de proceso se realizó la captura de datos con el debido tratamiento que se logran los softwares especializados en reconstrucciones virtuales para reducir el ruido y los defectos de la malla. Finalmente, en post-proceso se debe convertir la nube de puntos en una malla poligonal. Generalmente esta malla debe ser intervenida y reparada realizando operaciones de relleno de agujeros a pesar de las depuraciones hechas anteriormente; se debe optimizar de los elementos de malla para hacer más eficiente el consumo de recursos computacionales.

Los resultados del experimento se dividieron en dos partes, la primera mostrara un resumen con las consideraciones que cuenta para lograr una captura exitosa de los datos con cada escáner, después de realizar algunas pruebas y verificar su necesidad.

Consideraciones	Go! Scan	Sense	Kinect
Usar gorro plástico	Si	No	No
Uso de Targets	Si	No	No
Silla giratoria	Si	No	No
Usuario estático	SI	No	No
Escáner estático	No	Si	Si
Giro sobre el usuario	360°	360°	180°
Montaje previo	No	No	Si (trípode)

Tabla 2. Consideraciones tenidas en cuenta para la toma de muestras exitosas según las necesidades del escáner

La segunda parte es la comparación de resultados de tipo numérico, el cual se usó en un análisis ANOVA de un solo factor con ayuda de Excel, para conocer las diferencias de medida entre las superficies obtenidas y que tan significativa es, así podremos saber que tan adecuada es cada tecnología para futuros proyectos a realizar.

Dado que la hipótesis nula es que las medidas de los tratamientos son iguales, frente a la hipótesis alternativa de que por lo menos una de las poblaciones difiere de las demás en cuanto a su valor esperado, se compararon los resultados con respecto a la variable dependiente con un intervalo de confianza al 0.95

USUARIO	Referencia en cm (medida de sien a sien)	GO	SENSE	KINECT	Desviación	Mediana	Min	Máx.	VAR	Media
Mujer 1	13,4	13,322	13,313	13,4	0,0477729	13,361	13,313	13,4	0,00228225	13,3587
Mujer 2	12,6	12,625	12,612	12,487	0,06349278	12,606	12,487	12,625	0,00403133	12,581
Mujer 3	13,1	12,992	12,938	13,608	0,30649144	13,046	12,938	13,608	0,093937	13,1595
Hombre 1	14,7	14,676	15,554	15,43	0,46704461	15,065	14,676	15,554	0,21813067	15,09
Hombre 2	14,4	14,495	14,227	14,459	0,11880621	14,4295	14,227	14,495	0,01411492	14,3952
Hombre 3	15,7	15,752	15,653	15,307	0,2014332	15,6765	15,307	15,752	0,04057533	15,603

Tabla 3. Tabla de datos con análisis de herramientas estadísticas para valoración de los resultados.

Análisis de resultados

Según el análisis de medias por medio del estadístico de prueba F, pueden darse dos condiciones, la primera es que no se encuentre diferencia significativa entre medias por lo tanto se acepta la hipótesis nula, pero si al menos una de las medias difiere, se acepta la hipótesis alternativa. El experimento de bloques completamente al azar realizado con seis

tratamientos con una muestra $n=24$ y única respuesta siendo la variable dependiente distancia entre sienes (mm), se puede observar los resultados del ANOVA a un nivel de confianza de 0,95 en la Tabla 3.

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Medición	6	83,9	13,9833333	1,333666667
Go	6	83,862	13,977	1,4269408
Sense	6	84,297	14,0495	1,7421019
Kinect	6	84,691	14,1151667	1,337416567

Tabla 4. Resumen de mediciones más varianza desde cada Escáner para verificación de cambios en la configuración del experimento

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,07568483	3	0,02522828	0,01727927	0,99680254	3,098391212
Dentro de los grupos	29,2006297	20	1,46003148			
Total	29,2763145	23				

Tabla 5. Análisis de varianza arrojado para valoración de resultados en función de la fiabilidad.

Al comparar valor el f con el f crítico, respecto un intervalo de confianza es del 0,95 esto indica que la probabilidad de encontrar valores que se encuentren en los límites estocásticos para este tipo de experimentos es del 95%, por ello no se identifica ninguna diferencia significativa entre las medidas tomadas en los tratamientos según cada tecnología respecto a la medición física con lo cual se aprueba la hipótesis nula, por ello cualquiera de las tecnologías responderá de manera correcta a reconstrucciones faciales en el área de las sienes.



Fig.3. Tratamiento final de la reconstrucción facial en el desarrollo de producto a la medida considerando adaptaciones específicas según la geometría propia de la persona.

En el marco de NPD se configuraron unas gafas al usuario, para identificar las relaciones de posición entre la persona con la montura, permitiendo al diseñador evaluar los factores previos a la fabricación o el diseño especializado que se le quiere entregar al cliente, por ello es relevante la verificación del proceso previamente, permitiendo una evaluación objetiva en características específicas con una probabilidad mayor de satisfacción a la hora responder a necesidades propias por características que se salen de los elementos diseñados para el público en general.

Conclusiones

Los resultados arrojan que la varianza entre las tecnologías es mínima en el área de las sienes, siendo este un valor confiable en la toma de datos para generar elementos que se encuentren localizados en este punto, aun así en la tecnología de gama baja se evidencia un adelgazamiento en la zona maxilofacial, dejando un índice de incertidumbre alto respecto al comportamiento del escáner en estas áreas, aunque se identifica esta variable se deja a consideración para replicar el experimento en esta región del rostro.

En cuanto a la toma de decisiones de compra a nivel empresarial el *Sense* es una opción que genera confiabilidad pues su relación costo/beneficio es significativa, es un escáner relativamente económico que en aspectos de medición genera buenos resultados, por ello el beneficio a nivel comercial sería considerable. Para el *Go! Scan* su aplicabilidad a nivel de pequeñas ópticas que quieran prestar el servicio es nula, ya que su costo es muy alto por las características que posee y su compra acarrearía un gasto alto, sin lograr un uso óptimo del escáner. En el caso específico del Kinect, las tomas con el escáner dependen de la cantidad de fotogramas que se usen para formar la malla, influyendo si las tomas son correctas, pues existe el riesgo de que una excesiva cantidad de fotos pueda superponerse de manera errónea dañando el proceso para configuración de la malla.

Para finalizar se expone el ejemplo de un marco de gafas adaptado a cada uno de los modelos poligonales generados, atestiguando como el uso de las tecnologías de ingeniería inversa generan modelos que pueden ser usados como referencia en el NPD personalizado, ya que desde la plataforma de *Rhinoceros* pueden realizarse ediciones sobre el diseño teniendo siempre presente y en primera instancia las características del usuario específico

Citas Bibliográficas

- [1] M. Prat Sabartés, "Robert C. Allen: The British Industrial Revolution in Global Perspective. Cambridge, Cambridge University Press, 2009, 331 págs.," *Investigaciones de Historia Económica*, vol. 7, no. 2. pp. 337–339, 2011.
- [2] A. Griffin, "Practices: Results of the 2003 PDMA Best Practices Study Ñ," *J. Prod. Innov. Manag.*, vol. 14, no. November 1997, pp. 429–458, Nov. 2016.
- [3] G. U. Martin Belvisi, Riccardo Pianeti, "A knowledge-based theory of the firm: managing innovation in biotechnology," *Dyn. Factor Model.*, vol. 35, pp. 317–360, 2016.
- [4] W. Bai, Y. Feng, Y. Yue, and L. Feng, "Organizational Structure, Cross-functional Integration and Performance of New Product Development Team," *Procedia Eng.*, vol. 174, pp. 621–629, 2017.
- [5] R. Sánchez Fernández, G. Swinnen, and M. ángeles Iniesta Bonillo, "La creación de valor en servicios: Una aproximación a las dimensiones utilitarista y hedonista en el ámbito de la restauración," *Cuad. Econ. y Dir. la Empres.*, vol. 16, no. 2, pp. 83–94, 2013.
- [6] L. G. Pee, "Customer co-creation in B2C e-commerce: does it lead to better new products?," *Electron. Commer. Res.*, vol. 16, no. 2, pp. 217–243, 2016.
- [7] G. Rubera, D. Chandrasekaran, and A. Ordanini, "Open innovation, product portfolio innovativeness and firm performance: the dual role of new product development capabilities," *J. Acad. Mark. Sci.*, vol. 44, no. 2, pp. 166–184, 2016.
- [8] K. Sokół and D. Cekus, "Reverse Engineering as a Solution in Parts Restoration Process," *Procedia Eng.*, vol. 177, pp. 210–217, 2017.
- [9] L. M. Galantucci, E. Piperi, F. Lavecchia, and A. Zhavo, "Semi-automatic Low Cost 3D Laser Scanning Systems for Reverse Engineering," *Procedia CIRP*, vol. 28, pp. 94–99, 2015.
- [10] R. Hernández, A. De Jesús, G. De, and R. Luis, "Escáner 3d para reconstrucción computarizada de objetos reales," vol. i, pp. 11–15.
- [11] J. A. Marzal, "Impacto de las nuevas tecnologías de escaneado y visualización 3D en el proceso de conceptualización para el diseño industrial.," 2014.
- [12] S. Manizales and P. Titular, "ANTROPOMETRIA FACIAL A PARTIR DE MULTIPLES VISTAS: UNA PROPUESTA METODOLOGICA Flavio Prieto," 2008.
- [13] M. E. I. De Biomecánica, B. M. Martinez, J. S. Vizcaya, and F. F. Ros, "Gafas totalmente personalizadas," pp. 55–58.
- [14] "Especificaciones Técnicas." .
- [15] "3D Systems sigue avanzando con su nuevo escáner 3D Sense." .
- [16] "Kinect hardware key features and benefits." .
- [17] J. P. Pinder and J. P. Pinder, "Chapter 9 – Simulation fit and significance: chi-square and ANOVA," in *Introduction to Business Analytics using Simulation*, 2017, pp. 259–312.
- [18] B. E. Aarts, J. Convens, E. M. Bronkhorst, A. M. Kuijpers-Jagtman, and P. S. Fudalej, "Cessation of facial growth in subjects with short, average, and long facial types – Implications for the timing of implant placement," *J. Cranio-Maxillofacial Surg.*, vol. 43, no. 10, pp. 2106–2111, 2015.
- [19] A. C. Correa, A. E. S. Salazar, and F. A. P. Ortiz, "Reconocimiento de rostros y gestos faciales mediante un analisis de relevancia con imagenes 3D.," *Rev. Investig. Desarro. E Innovación*, vol. 4, no. 1, pp. 7–20, 2013.