

La incertidumbre creativa en el ejercicio proyectual del Diseño y el aporte del rápido prototipado.

Autores

Phd. Carlos Córdoba Cely. cordobacely@udenar.edu.co
Universidad de Nariño, Colombia

Esp. Harold Bonilla Mora. bonillaharold@udenar.edu.co
Universidad de Nariño, Colombia

RESUMEN

El Rápido prototipado se entiende como aquellos procesos tecnológicos utilizados para obtener de manera relativamente rápida prototipos de trabajo con los cuales poder evaluar propuestas tridimensionales de objetos. Sin embargo, estos procedimientos de trabajo constituyen en la actualidad una valiosa herramienta de trabajo para la reducción de incertidumbre y la construcción de conocimiento colaborativo. Esta investigación plantea la consolidación de una metodología de diseño que incorpore y valide el rápido prototipado como un proceso de reducción de incertidumbre creativa; en este sentido se utilizó el método de investigación denominado “investigación a través del diseño” (*Research Through Design*) que permitió desarrollar un enfoque a través del aprendizaje basado en la experiencia, específicamente en la experiencia activa a través de la generación de productos como resultado de investigación, de igual forma se conectó con la metodología del pensamiento de diseño como base de creación de conocimiento de abducción- deducción – inducción. Es así como se valida con estudiantes una metodología de diseño que incluye estas nuevas herramientas tecnológicas de trabajo que permiten reducir los tiempos de ideación en el desarrollo de artefactos de diseño, bajo una medición de diversos indicadores como calidad de propuestas de diseño entre la ideación y la manufactura, percepción de control en el proceso de diseño, logrando así determinar que los niveles de incertidumbre creativa fueron menores al utilizar el rápido prototipado.

Palabras Claves: rápido prototipado, incertidumbre, creatividad, diseño, metodología

The Creative Uncertainty In The Project Exercise Of The Design And The Contribution Of The Rapid Prototyping.

Abstract

Rapid prototyping (Rp) is understood as a technological process used to obtain relatively quickly design prototypes with which to evaluate three-dimensional proposals of objects; However these new procedures are currently a valuable working tool; This research proposes as an objective the use of Rp as a medium for product innovation, knowledge creation and social appropriation from design careers, and proposes the consolidation of a methodology that incorporates Rp as a process of reducing creative uncertainty; For this the research method was used through the design, which allowed to develop an approach through learning based on active experience through the generation of products as a result of research, through the formation of interdisciplinary work teams achieving : I) generate alternatives and design artifacts, ii) rapid prototyping of these alternatives, iii) development of prototypes, Finally validates with students and different actors the methodology of design that includes these new technological tools of work ratifying the reduction in the times of ideation in the development

of design artifacts, under a measurement of diverse indicators as the quality of design proposals between The perception of control in the design process, thus determining how the levels of creative uncertainty were less when using rapid prototyping as a tool in the design exercise of design.

KEYWORDS: rapid prototyping, uncertainty, creativity, design, methodology

INTRODUCCIÓN

En la actualidad se entiende como Rápido Prototipado a aquellos procesos tecnológicos utilizados para obtener de manera relativamente rápida prototipos de trabajo con los cuales se puede evaluar propuestas tridimensionales de objetos. Dentro de las disciplinas relacionadas con el diseño, el prototipado es una parte vital de sus metodologías proyectuales (Yang, 2005). Sin embargo, sólo en la última década, se ha dedicado tiempo y esfuerzo investigativo para determinar la importancia de esta etapa de trabajo en el proceso creativo de un producto. Por otra parte, las nuevas concepciones teóricas alrededor del Diseño se orientan al trabajo centrado en las personas y los procedimientos colaborativos (Stappers et al. 2011), lo cual ha hecho que la impresión 3D tomé mayor importancia al permitir de una manera fácil y rápida, acercar al usuario y las comunidades con los procesos de diseño y validación de los productos (García, 2012). Así, se puede decir entonces, que el objetivo primordial de cualquier prototipo es la visualización tangible de un objeto preexistente que pueda utilizarse para reducir la incertidumbre en los procesos creativos de ingenieros, diseñadores y usuarios en general (Gelber & Carroll, 2011). Partiendo de este principio teórico, el problema que se aborda en este proyecto es la injerencia del rápido prototipado en la reducción de incertidumbre a través de la incorporación de este proceso en diferentes técnicas metodológicas. Se propone entonces, utilizar técnicas de rápido prototipado en diferentes procesos creativos para determinar si este tipo de tecnologías permiten reducir la incertidumbre en la creación de productos.

Partiendo de que el prototipo es ante todo una herramienta de trabajo cuya finalidad es reducir los tiempos de incertidumbre en los procesos creativos, (Gelber, 2009), se pudo establecer que es en el atributo construido alrededor del tiempo de manufactura en donde se encuentra la diferencia primordial entre un prototipo tradicional y lo que se conoce como rápido prototipado o prototipado de baja fidelidad (*Low-fidelity prototyping*) (Fig 1). Así pues, este proyecto pretende analizar las variaciones de los tiempos de prototipado y calidad de la materia prima en la reducción de la incertidumbre dentro de los procesos creativos de las disciplinas del diseño, específicamente en el caso del Taller V – Formal Estético del programa de diseño industrial de la Universidad de Nariño.



Fig. 1 Análisis prototipo tradicional y rápido, Fuente esta investigación

Metodología

Este proyecto se basó en el método de investigación denominado “Investigación a través del Diseño” (*Research Through Design*); este método se fundamenta en la Investigación-Acción del psicólogo Kurt Lewin (1946), (Fig. 2), su enfoque utiliza la producción objetual (artefactos, prototipos, bocetos, etc.), como un resultado experimental de una investigación para crear conocimiento. Es decir, es a través del objeto que se comprueban las hipótesis de investigación.

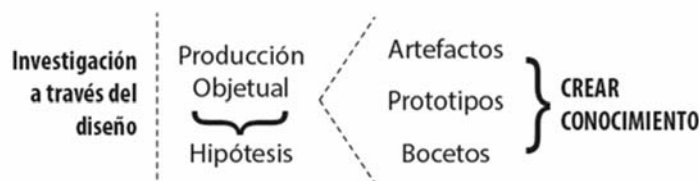


Fig. 2 Research through design, Basado en Lewin, 1946

La hipótesis de investigación de esta propuesta postula que los niveles de incertidumbre creativa serían menores al utilizar el proceso del rápido prototipado, entendido este, como una herramienta tecnológica que permite y posibilita el control de la información en relación a la toma de decisiones en un proceso de diseño; en ese sentido se hizo énfasis en primera instancia en la identificación de indicadores conceptuales basados en algunos postulados teóricos de diferentes autores que permitieran cumplir con el objetivo propuesto, en la tabla siguiente se describen los indicadores.

Tabla N° 1.

Indicadores de control de información.

INDICADOR	DESCRIPCIÓN
Calidad de las propuestas de diseño. Hassenzahl, (2003).	Busca encontrar el “carácter” de un producto por medio de un conjunto de atributos hedónicos y pragmáticos propios del artefacto tecnológico. Estos atributos producen una serie de respuestas por parte del individuo, las cuales pueden ser cognitivas (atractivo visual, manipulación) o afectivas (satisfacción, placer)
Tiempo de desarrollo de las propuestas de diseño, Cross, (2011)	Entendido como recursos disponible sobre la base de una percepción personal, donde se incluye el problema de diseño, el diseño, la situación, objetivos enmarcado en una temporalidad del proceso creativo.
Percepción y control en el proceso de diseño. Deci, (2009); Mandingo & Holt, (1999)	Los comportamientos de las personas pueden ser explicados por medio de la motivación intrínseca, se define como conjunto de aquellas actividades que la gente hace de manera natural y espontánea cuando se siente libre de seguir sus propios intereses y pueda satisfacer las necesidades de autonomía, competencia y de relación.
Recolección de información del proceso creativo. Cross, (2007)	Hace parte de un modelo descriptivo de los procesos de diseño, en donde se describe la secuencia de apropiación de información en base a la experiencia y buenas prácticas.

Indicador Descripción

Calidad de las propuestas de diseño. Hassenzahl, (2003). Busca encontrar el “carácter” de un producto por medio de un conjunto de atributos hedónicos y pragmáticos propios del artefacto tecnológico. Estos atributos producen una serie de respuestas por parte del individuo, las cuales pueden ser cognitivas (atractivo visual, manipulación) o afectivas (satisfacción, placer)

Tiempo de desarrollo de las propuestas de diseño, Cross, (2011) Entendido como recursos disponibles sobre la base de una percepción personal, donde se incluye el problema de diseño, el diseño, la situación, objetivos enmarcado en una temporalidad del proceso creativo.

Percepción y control en el proceso de diseño. Deci, (2009); *Mandingo & Holt*, (1999) Los comportamientos de las personas pueden ser explicados por medio de la motivación intrínseca, se define como conjunto de aquellas actividades que la gente hace de manera natural y espontánea cuando se siente libre de seguir sus propios intereses y pueda satisfacer las necesidades de autonomía, competencia y de relación.

Recolección de información del proceso creativo. Cross, (2007) Hace parte de un modelo descriptivo de los procesos de diseño, en donde se describe la secuencia de apropiación de información en base a la experiencia y buenas prácticas.

Por otro lado, se define la estructura funcional del modelo de trabajo de esta investigación en relación a tres principales enfoques que comúnmente se llevan a cabo y son la base de diversas metodologías de diseño, el primero se relaciona con el momento de conceptualización que toma como herramienta fundamental la investigación y la interpretación de la misma a través del pensamiento visual, en segunda instancia se utiliza los procesos de análisis creativo a través de modelos tridimensionales primarios y finalmente el desarrollo de un prototipo beta.

En la siguiente tabla se visualiza el modelo de trabajo llevado a cabo en esta experiencia, permitiendo agrupar las actividades en las cuales se generaron las diferentes sesiones de comprobación de incertidumbre creativa; de esa manera establecemos el ejemplo metodológico planteado en tres fases según su enfoque de diseño.

Tabla N° 2.

Sesiones de trabajo y enfoque de diseño

ACTIVIDADES	SESIONES	ENFOQUE DE DISEÑO
Reto de diseño / Descubrimiento	S1	Pensamiento Visual
Bocetación		
Selección y Refinamiento		
Maquetación	S2	Modelos Hápticos / Rápido prototipado
Prototipado	S3	Modelos Funcionales

Actividades Sesiones Enfoque De Diseño

Reto de diseño / Descubrimiento S1 Pensamiento Visual

Bocetación

Selección y Refinamiento

Maquetación S2 Modelos Hápticos / Rápido prototipado

Prototipado S3 Modelos Funcionales

De esta manera se propone a partir de un reto de diseño medir la producción de artefactos de diseño, mediante agrupaciones de preguntas en tres momentos: la conceptualización formal inicial (Bocetación), las ideas representativas tridimensionales (Maquetación) y la propuesta final (Prototipo), en ese sentido se determinaron tres categorías así:

a) Preguntas de Confianza, las cuales buscaban evaluar la relación formal, modulares, de acabados y generales del diseño en base a la solución del reto;

b) Preguntas de Conocimiento, enfocadas específicamente a relacionar la forma, la modularidad, los acabados y las generalidades con la información obtenida en el proceso creativo;

c) Preguntas de Riesgo con la finalidad de analizar los resultados finales en relación al nivel de riesgo asumido en el reto de diseño; en adición a lo descrito para tener un paralelo que permita una lógica comparativa se mantuvo un grupo de estudiantes denominado "grupo de control", el cual desarrolló el mismo ejercicio de diseño sin vinculación de la tecnología para prototipado 3D.

Tabla N° 3.

Relación preguntas de medición de incertidumbre.

TIPO DE PREGUNTA	CARACTERISTICA EVALUADA EN EL INTERROGANTE	MEDICIÓN DEL INTERROGANTE
1. Preguntas de confianza	COF1 - Confianza formal en la propuesta	Incertidumbre en el pensamiento visual (Bocetación) y en los modelos hápticos (maquetas).
	COF2 - Confianza modular en la propuesta	
	COF3 - Confianza general en los acabados	
	COF4 - Confianza general en la propuesta	
2. Preguntas de conocimiento	CON1 - Obtención de la información formal	Incertidumbre en el pensamiento visual (Bocetación) y en los modelos hápticos (maquetas).
	CON2 - Obtención de la información modular	
	CON3 - Obtención de la información en acabados	
	CON4 - Obtención de la información general	
3. Preguntas de Riesgo	RIS1 - Riesgo asumido a nivel formal	La auto evaluación en el resultado del prototipo / artefacto.
	RIS2 - Riesgo asumido a nivel modular	
	RIS3 - Riesgo asumido a nivel acabados	
	RIS4 - Riesgo asumido a nivel general	

Tipo De Pregunta Característica Evaluada En El Interrogante Medición Del Interrogante

1. Preguntas de confianza COF1 - Confianza formal en la propuesta Incertidumbre en el pensamiento visual (Bocetación) y en los modelos hápticos (maquetas).

COF2 - Confianza modular en la propuesta

COF3 - Confianza general en los acabados

COF4 - Confianza general en la propuesta

2. Preguntas de conocimiento CON1 - Obtención de la información formal Incertidumbre en el pensamiento visual (Bocetación) y en los modelos hápticos (maquetas).

CON2 - Obtención de la información modular

CON3 - Obtención de la información en acabados

CON4 - Obtención de la información general

3. Preguntas de Riesgo

RIS1 - Riesgo asumido a nivel formal. La auto evaluación en el resultado del prototipo / artefacto.

RIS2 - Riesgo asumido a nivel modular

RIS3 - Riesgo asumido a nivel acabados

RIS4 - Riesgo asumido a nivel general

Resultados De Investigación

En principio la necesidad de encontrar una relación entre el ejercicio proyectual y la incertidumbre creativa desde el apoyo de las nuevas tecnologías pareciera innecesaria en la coyuntura actual, sin embargo, desde este ejercicio de investigación buscamos un pequeño aporte o asignación de valor conceptual a este constructo teórico en el que se encuentra nuestra profesión. Desde el mismo enunciado de la hipótesis lo primero que determinamos es que la incertidumbre es uno de los elementos que permite y obliga a una exploración creativa, entendida como el esfuerzo en buscar resultados de innovación, en algunos casos específicamente en el ejercicio académico es más evidente que estas eventualidades sucedan en mayor número y estén determinadas también por el modelo académico asumido por la cátedra y por el entorno en donde se efectúe la actividad. Para el caso del análisis desarrollado en el Taller V – estético formal, se pudo reafirmar que en este nivel (5 semestre) los estudiantes afrontan los retos de diseño con una base no tan débil en relación a los fundamentos del diseño ya que conocen algunos procesos y metodologías proyectuales, es así que identificamos que no hay una incertidumbre tan marcada al iniciar la fase de generación de ideas ya que los estudiantes por su misma formación utilizan la herramienta del pensamiento visual (bocetos), para poder enfrentar el primer desafío de conceptualización de diseño. En relación a los instrumentos de recolección de información utilizados en este estudio para esta primera fase se seleccionaron las categorías COF1, COF4, CON1, CON4 que permitieron obtener un comparativo en relación a la confianza formal y general que se tuvo en las tres sesiones, como también al indicador de conocimiento en cuanto a la información obtenida.

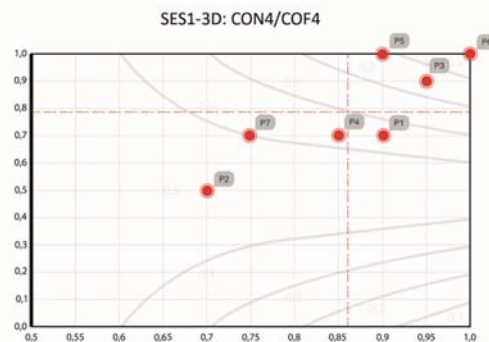
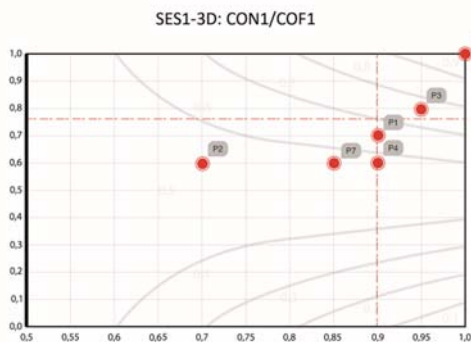
Tabla. 4

Análisis de resultados grupo de estudio.

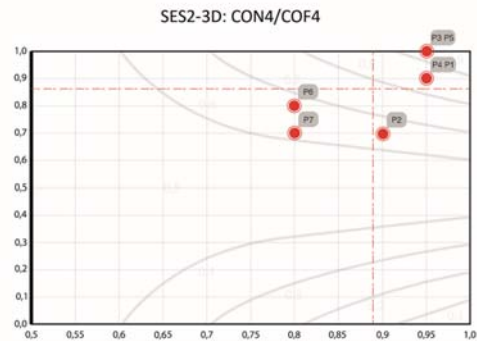
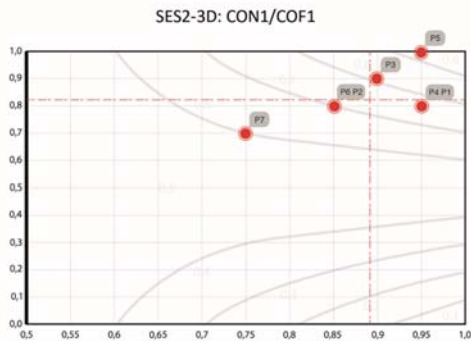
GRUPO DE ESTUDIO / CON RÁPIDO PROTOTIPADO

ANÁLISIS DE RESULTADOS

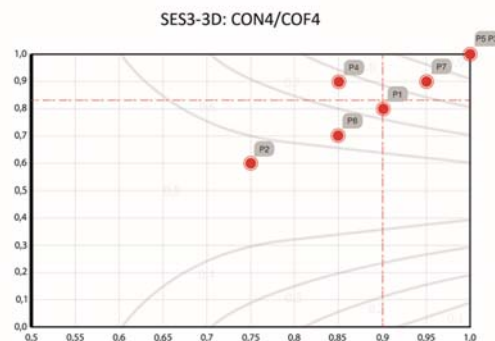
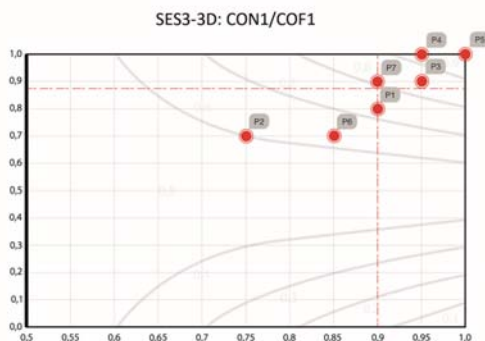
CON1/COF1



El grupo de participantes inicia el reto de diseño con un índice de confianza y conocimiento positivo, medio en escala de 0 a 1, para este caso se mantiene una agrupación sobre la media 0,5, la mayoría de participantes se agrupan en el mismo cuadrante, indicando un alto nivel de confianza previo, inclusive algunos están al tope de la medición, utópico en un entorno académico; el conocimiento y la confianza general en la propuesta de diseño es alta en base a lo proyectado en la etapa de bocetación, en los casos que se acercan a la media se evidencia una dificultad de expresión gráfica relacionada en los detalles de las propuestas.



Es evidente que a través del uso del prototipado 3D, el nivel de confianza aumenta significativamente, es importante destacar que el indicador del tiempo es el que más se aprovecha ya que aquí existe una vista previa a nivel de modelado 3D permitiendo su reconfiguración formal, percepción y control del diseño, los participantes reducen la incertidumbre y confirman lo propuesto a nivel de boceto con el artefacto impreso; a nivel general el rápido prototipado aprueba una retroalimentación de la información del artefacto, predice cambios, modificaciones, ajustes y en algunos casos recomienda el cambio total de la propuestas proyectual.



El desarrollo del prototipo basado en un modelo previo permite los ajustes necesarios formales a través de una recolección de datos que mejoraron su desarrollo morfológico y conceptual, cabe anotar que en algunos casos la información de las relaciones funcionales del artefacto son las que menos se detallaron por lo tanto se evidencian algunos inconvenientes en el control de la calidad funcional y de acabados en el artefacto final; a

nivel general el prototipo final del artefacto desarrollado vincula más aspectos que en el rápido prototipado no se tienen en cuenta, por tanto no se asegura la calidad funcional de los materiales ni de su aspecto estético y simbólico.

Grupo De Estudio / Con Rápido Prototipado

Análisis De Resultados

CON1/COF1

El grupo de participantes inicia el reto de diseño con un índice de confianza y conocimiento positivo, medio en escala de 0 a 1, para este caso se mantiene una agrupación sobre la media 0,5, la mayoría de participantes se agrupan en el mismo cuadrante, indicando un alto nivel de confianza previo, inclusive algunos están al tope de la medición, utópico en un entorno académico; el conocimiento y la confianza general en la propuesta de diseño es alta en base a lo proyectado en la etapa de bocetación, en los casos que se acercan a la media se evidencia una dificultad de expresión gráfica relacionada en los detalles de las propuestas.

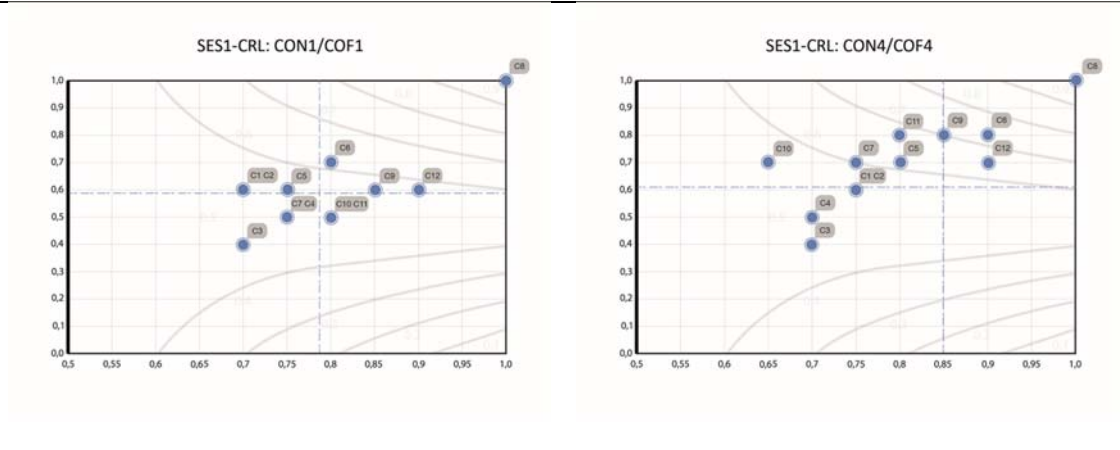
Es evidente que a través del uso del prototipado 3D, el nivel de confianza aumenta significativamente, es importante destacar que el indicador del tiempo es el que más se aprovecha ya que aquí existe una vista previa a nivel de modelado 3D permitiendo su reconfiguración formal, percepción y control del diseño, los participantes reducen la incertidumbre y confirman lo propuesto a nivel de boceto con el artefacto impreso; a nivel general el rápido prototipado aprueba una retroalimentación de la información del artefacto, predice cambios, modificaciones, ajustes y en algunos casos recomienda el cambio total de la propuestas proyectual.

El desarrollo del prototipo basado en un modelo previo permite los ajustes necesarios formales a través de una recolección de datos que mejoraron su desarrollo morfológico y conceptual, cabe anotar que en algunos casos la información de las relaciones funcionales del artefacto son las que menos se detallaron por lo tanto se evidencian algunos inconvenientes en el control de la calidad funcional y de acabados en el artefacto final; a nivel general el prototipo final del artefacto desarrollado vincula más aspectos que en el rápido prototipado no se tienen en cuenta, por tanto no se asegura la calidad funcional de los materiales ni de su aspecto estético y simbólico.

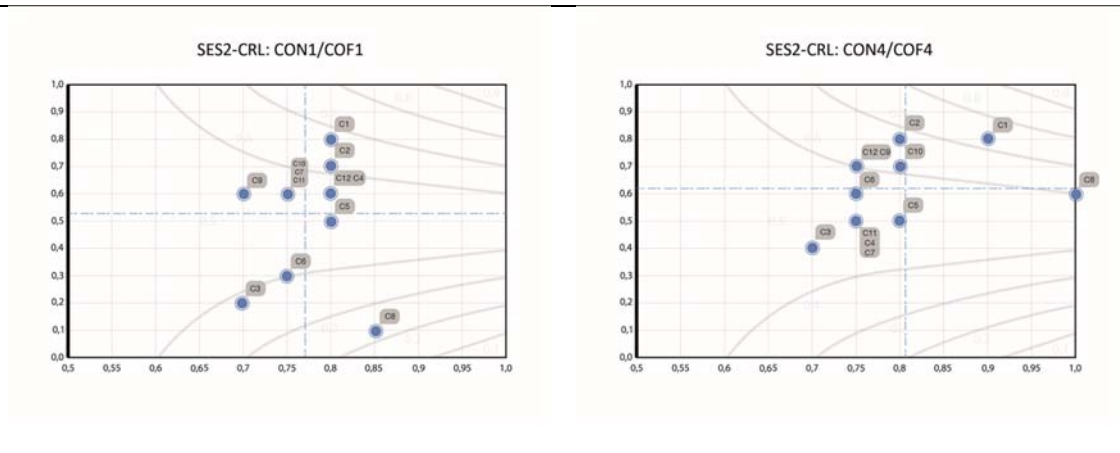
Tabla. 5

Análisis de resultados grupo de control.

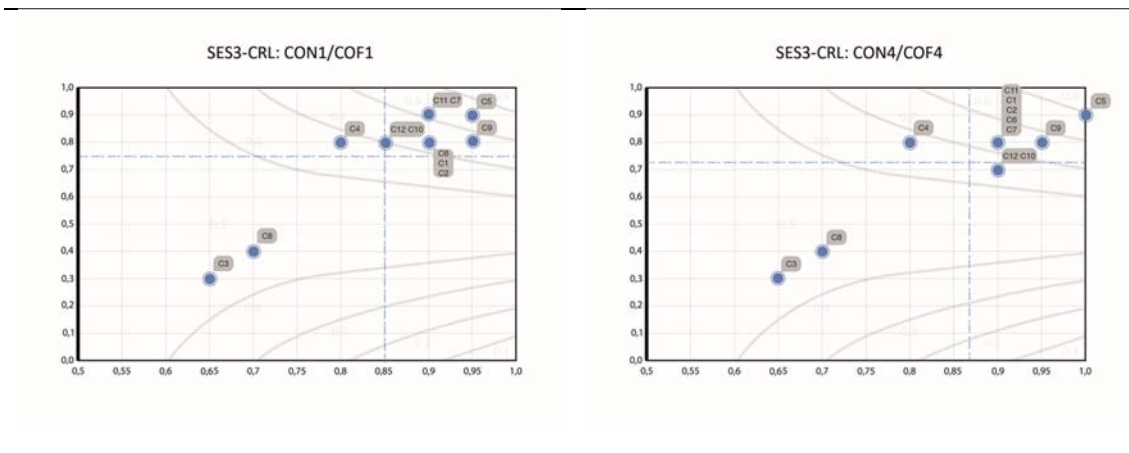
GRUPO DE CONTROL / SIN RÁPIDO PROTOTIPADO
ANÁLISIS DE RESULTADOS
CON1/COF1



El relación al grupo de control se desarrollaron los análisis en base a las mismas sesiones de trabajo, al inicio del reto de diseño este grupo desconoce totalmente el uso del rápido prototipado como apoyo al ejercicio proyectual, en relación a la bocetación los participantes se agrupan casi en el mismo estándar de confianza y conocimiento sobre la media, aunque existe una disyuntiva ya que algunos de los participantes en el pensamiento visual presentan dudas en relación a su idea, pero su expectativa de confianza y conocimiento es positivo, eso quiere decir que tienen confianza en el resultado pero no lo pueden expresar gráficamente o esperan complementarlo en la siguiente fase.



Es claro que en los ejercicios proyectuales el uso de las maquetas de diseño sirven para tratar de reducir la incertidumbre creativa, en ese sentido depende de la calidad y exigencia de la misma para poder utilizarla como elemento creativo, en este caso se nota que hay un retroceso en el sentido de inconvenientes que no se detectaron en la fase de bocetación y que a pesar de tener un modelo tridimensional hecho de diferentes materiales básicos (cartones, espumas, etc.), la incertidumbre se mantiene y en algunos casos se profundiza por la dificultad de generar detalles en los modelos hápticos, generando así una dilatación en las definiciones finales; a nivel general el conocimiento y la confianza dependen del detalle que permita dicho modelo tridimensional.



Posteriormente el prototipo final permite corroborar la propuesta inicial, previas recomendaciones del docente en base a las maquetas presentadas por los participantes, cabe aclarar que solo se tuvo una sola asesoría en donde se sugirieron los cambios pertinentes para que el resultado sea adecuado al reto, en este grupo a nivel general el conocimiento y la confianza se recuperan debido a la necesidad de la búsqueda de resultados académicos.

Grupo De Control / Sin Rápido Prototipado

Análisis De Resultados

CON1/COF1

El relación al grupo de control se desarrollaron los análisis en base a las mismas sesiones de trabajo, al inicio del reto de diseño este grupo desconoce totalmente el uso del rápido prototipado como apoyo al ejercicio proyectual, en relación a la bocetación los participantes se agrupan casi en el mismo estándar de confianza y conocimiento sobre la media, aunque existe una disyuntiva ya que algunos de los participantes en el pensamiento visual presentan dudas en relación a su idea, pero su expectativa de confianza y conocimiento es positivo, eso quiere decir que tienen confianza en el resultado pero no lo pueden expresar gráficamente o esperan complementarlo en la siguiente fase.

Es claro que en los ejercicios proyectuales el uso de las maquetas de diseño sirven para tratar de reducir la incertidumbre creativa, en ese sentido depende de la calidad y exigencia de la misma para poder utilizarla como elemento creativo, en este caso se nota que hay un retroceso en el sentido de inconvenientes que no se detectaron en la fase de bocetación y que a pesar de tener un modelo tridimensional hecho de diferentes materiales básicos (cartones, espumas, etc.), la incertidumbre se mantiene y en algunos casos se profundiza por la dificultad de generar detalles en los modelos hápticos, generando así una dilatación en las definiciones finales; a nivel general el conocimiento y la confianza dependen del detalle que permita dicho modelo tridimensional.

Posteriormente el prototipo final permite corroborar la propuesta inicial, previas recomendaciones del docente en base a las maquetas presentadas por los participantes, cabe aclarar que solo se tuvo una sola asesoría en donde se sugirieron los cambios pertinentes para que el resultado sea adecuado al reto, en este grupo a nivel general el conocimiento y la confianza se recuperan debido a la necesidad de la búsqueda de resultados académicos.

CONCLUSIONES

La reducción de la incertidumbre en los procesos creativos de los diseñadores, ha estado abordada desde siempre y en los distintos modelos curriculares de las escuelas de diseño, el ejercicio proyectual se ha vinculado desde la percepción imaginaria de un artefacto de diseño el cual todavía no ha sido concretado y se encuentra en un limbo creativo, ante eso los métodos de diseño han permitido desde sus diversas estructuras organizar procesos que permitan un ordenamiento perceptivo y constructivo, unos más complejos que otros.

El uso de las nuevas tecnologías en el impulso de la creatividad es una oportunidad de trabajo de gran relevancia en los procesos actuales de diseño, ya que permite enriquecer la conceptualización y retroalimentación en las fases de información y de labor creativa, reduciendo así la incertidumbre lo que permite de la misma manera, la toma de decisiones previas, el manejo adecuado del tiempo y las modificaciones del artefacto de diseño.

Por otro lado, se evidencia un control en la configuración de los artefactos desde los aspectos de calidad formal en sus atributos, en la temporalidad del ejercicio que se amolda de mejor manera a su evolución desde la recolección de la información y la resolución de las dudas y certezas en el ejercicio proyectual.

Finalmente se destaca que el apoyo del rápido prototipado como tecnología es actualmente posible debido a su evolución y perspectiva de adaptación a los nuevos mercados y se ajusta muy fácilmente al modelo de trabajo de los estudiantes de diseño generando un cambio en la reciprocidad y expectativa del ejercicio; sin embargo es de anotar que el rápido prototipado también debe permitir el control en relación a las características funcionales, ya que esta es una de las funciones más complejas en el ejercicio de diseño, así se debe vincular una disgregación del rápido prototipado formal en donde debe detallarse las características estéticas y simbólicas esperadas y el rápido prototipado funcional que aborde las características técnicas y de detalle.

La propuesta metodológica se plantea en el siguiente gráfico donde se adopta un proceso básico proyectual en tres fases determinadas según el enfoque de diseño y las actividades desarrolladas como ejercicio de diseño:

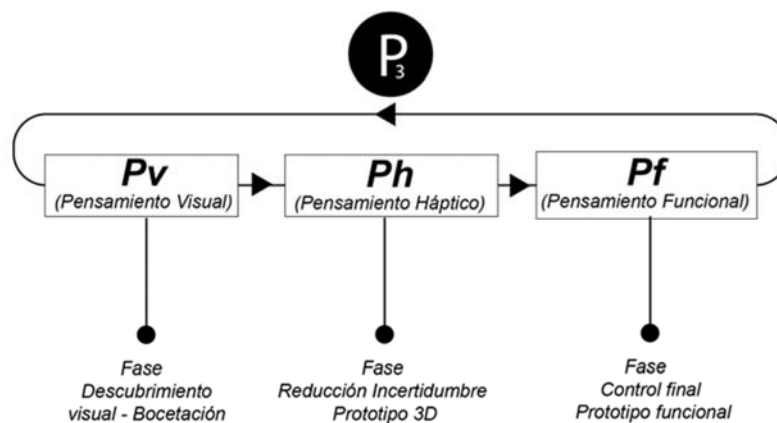


Fig. 2 Resumen del modelo metodológico basado en la reducción de incertidumbre creativa, Fuente esta investigación.

REFERENCIAS

- Alonso, M. B. (2010). Inherent feedback during product interaction to reduce stress. Doctoral Thesis. Department of Industrial Design Engineering, Delft University.
- Beckman, S. L., & Barry, M. (2007). Innovation as a learning process: embedding design thinking. *California Management Review*, 50(1), 25-56.
- Cross, N. (2007). From a Design Science to a Design Discipline: Understanding Designerly Ways of Knowing and Thinking. Ralf Michel (ed.) Board of International Research in Design, BIRD. Essays and Selected Projects. Basel, Switzerland: Birkhäuser Verlag AG, pp. 41-54.
- Dorst, K. (2011). The core of "design thinking" and its applications. *Design Studies*, 32(6), 521-532.
- Evans, M., Wallace, D., Cheshire, D., & Sener, B. (2005). An evaluation of haptic feedback modelling during industrial design practice. *Design Studies*, 26 (5) 487-508.
- Gann, D., & Dodgson, M. (2007). Innovation Technology. How new technologies are changing the way we innovate. UK: National Endowment for Science, Technology and the Arts, NESTA.
- García, M. (2012). MediaLab Prado: Citizens' labs for the collaborative prototype. In: Open Design Shared Creativity. International Conference, Barcelona Design Festival' 12, FAD+BCD. Barcelona, 2 July, 2012.
- Gelber, E. (2009). Prototyping: facing uncertainty through small wins. Paper presented at the International Conference on Engineering Design, Stanford, CA.
- Gelber, E., & Carroll, M. (2011). The psychological experience of prototyping. *Design Studies*, 33 (1) 64-84.
- Houde, S., & Hill, C. (1997) What do prototypes prototype? In: M. Helander, T. Landauer & P. Prabhu (eds) Handbook of Human-Computer Interaction, Elsevier Science, Amsterdam.
- Kolb, D. A. (1984). *Experiential Learning: Experience as the source of learning and development*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Koller D., & Levoy, M. (2005). Protecting 3D Graphics Content. *Stanford University Communications of the ACM*, 48(6),74-80.
- Lewin, K. (1946). Action research and minority problems. *Journal of Social Issues*, 2(4), 34-46.
- Pallot, M., & Pawar, K.(2012). A holistic model of user experience for living lab experiential design. In: Engineering, Technology and Innovation (ICE), 2012 18th International ICE Conference on,18-20 June 2012., pp.1-15.
- Prigogine, I. (1997). *El fin de las certidumbres*.Taurus: Madrid.
- Sanders, E., & Stappers, P. (2008). Co-creation and the new landscapes of Design. *Codesign*, 4(1), 5-18.
- Stappers P. J., Visser, F. S., & Kistemaker, S. (2011). Creation & Co: User participation in design. In: B. van Abel, R. Klaassen, L. Evers, P. Troxler, (eds.) *Open Design Now: why design cannot remain exclusive*. Netherlands, Amsterdam: BIS Publishers, pp, 140-151.
- Thomas, M. (2014). The Magic of Rapid Prototyping for User Research: Much More Than Smoke and Mirrors. In: *Accelerator, Product innovation insights*. Available in: <<http://accelerator.bresslergroup.com/2014/01/rapid-prototyping-for-user-research/>>. Accessed: 10 march, 2014.

- Wood, L. (1993). Rapid automated prototyping Industrial Press, New York: USA. pp. 1.
- Yang, M. (2004). An examination of prototyping and design outcome, in 2004 ASME Design Engineering Technical Conferences, Salt Lake City, Utah USA.
- Yang, M. (2005). A study of prototypes, design activity, and design outcome. Design Studies, 26 (6) 649-669.
- Zhang, S., & Huang, P. (2006). High-resolution, real-time 3-D shape measurement. Optical Engineering, pp.123601.