

Una mirada a la Ingeniería de Diseño Industrial de ELISAVA

Una Ingeniería que interpreta, proyecta, representa y construye

En el presente artículo se exponen, justifican y ponen en contexto los elementos más destacados del modelo actual de enseñanza de los estudios de Grado en Ingeniería de Diseño Industrial de ELISAVA. Dicho modelo se ha configurado gracias a la experiencia acumulada en diecinueve años de docencia de dicha Ingeniería¹ en la institución, y a la capacidad para modular ágilmente estos estudios a los cambios del entorno social, económico, profesional, tecnológico e industrial global. El análisis de dichos entornos por parte del equipo académico es preceptivo y proactivo, pues se entiende que el perfil profesional del ingeniero de diseño industrial que demanda el mercado es sensible a los cambios que experimentan la sociedad, la economía, la tecnología y la industria.

Del modelo de enseñanza se destaca: la transmisión al futuro ingeniero de un proceso proyectual ágil y creativo que permita sacar el máximo partido de todas sus competencias en el ejercicio profesional; la capacitación en la expresión y representación en

cuanto a soporte a la prospección y comunicación del producto; el conocimiento experimental de tecnologías de vanguardia, de la materia y de herramientas de simulación; y la visión de empresa y de negocio.

El cuerpo del artículo lo constituye la presentación y justificación de la implementación de cada uno de estos elementos en el Grado en Ingeniería de Diseño Industrial de ELISAVA. Seguidamente, se ilustrará con Trabajos de Final de Grado la convergencia de dichos elementos en proyectos de Ingeniería de Diseño Industrial que prefiguran un profesional con cultura, capaz de interpretar el momento, de representar simbólicamente y, claro está, proyectar y construir.

Proceso proyectual para la ingeniería de diseño

Aportar soluciones de implementación real implica saber extraer la información necesaria del campo de investigación a tratar y de las personas que lo conforman. Esto ha llevado a un nuevo proceso proyectual desde la ingeniería de diseño industrial, fomentando

¹ La Ingeniería Técnica de Diseño Industrial se empezó a impartir en la escuela ELISAVA en el curso 1997-98.

el desarrollo de un nuevo perfil de ingeniero de diseño dotado de un amplio conocimiento multidisciplinar y del que se espera agilidad en el uso de herramientas técnicas y metodológicas.

Las definiciones de ingeniería son variadas en función de la especialización. En la definición de ingeniero en diseño se puede aportar que el ingeniero en diseño es el profesional que tiene la capacidad de visionar el alcance del proyecto con objetividad y está dotado para generar, evaluar y realizar ideas de forma creativa [Sheppard, 2003], y tiene como premisa diseñar en base a un criterio de eficiencia, técnica y estrategia para la resolución de problemáticas no resueltas. En mayor detalle Clive añade que “la ingeniería de diseño es un proceso sistemático e inteligente en el que los diseñadores generan, evalúan y especifican conceptos para dispositivos, sistemas y procesos, cuya forma y función satisfacen los objetivos de los clientes, o las necesidades de los usuarios, a la vez que cumplen un conjunto de restricciones” [Clive, 2006] [Dym, 2005]².

Los antecedentes de proceso en la ingeniería de diseño se basan en un diseño ingenieril claro y consolidado, que consiste en un proceso de toma de decisiones interactivas, con etapas divergentes y convergentes, en el que grupos multidisciplinares de profesionales trabajan juntos desde el diseño conceptual hasta el producto final. Se han propuesto muchos *workflows* para el diseño de ingeniería, pero la mayoría de ellos son similares al mostrado en la figura 1 [Suran, 2015] [Pahl, 2007] [Ertas, 1996]. Este esquema es el punto de partida y referente de trabajo en el proceso ingenieril.

Respecto a los antecedentes del diseño para la innovación se toma como referente de valor el definido por Tim Brown (socio fundador IDEO), proceso denominado *Design Thinking*, el cual se ha basado en la experiencia de los casos de éxito dirigidos desde IDEO [Brown, 2008]. Se determina que en el proceso

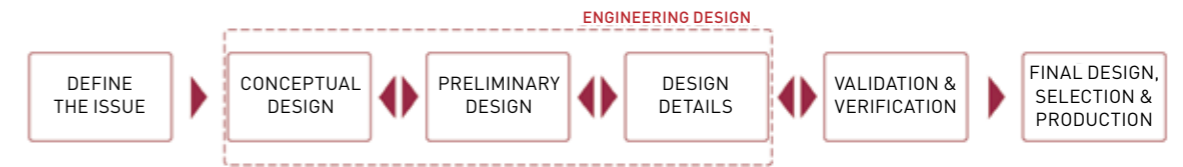
de *Design Thinking*, su mayor valor está en entender que es un proceso basado en innovar a través de diseño centrado en el usuario y la integración de la estrategia de negocios como parte vital de las etapas de diseño. Este proceso se describe en tres principales espacios, inspiración, ideación e implementación (figura 2).

Posteriormente David Kelley (socio fundador IDEO) junto a Larry Leifer y Terry Winograd fundan la *d.school Hasso Plattner, Institute of Design at Stanford*, en la cual se creó un programa académico que definía en mayor detalle el proceso para el *Design Thinking* (figura 3). Paralelamente y conjuntamente, *Hasso-Plattner-Institute* fundó la *HPI School of Design Thinking* en la universidad de Potsdam el cual también definió su proceso para el modelo académico actual y de los más considerados en la actualidad. En este caso, se define el proceso de *Design Thinking* determinando en el que existen bucles iterativos entre los participantes a través de seis fases (figura 4). [Steinbeck, 2011]

Al observar la gran implementación de estos procesos profesionales en los modelos docentes, se plantea la necesidad de definir cómo puede proceder la academia que está formando a ingenieros de diseño industrial para formar ingenieros desde la perspectiva más real y menos teórica, entendiendo que el aprendizaje del diseño ingenieril es un proceso cognitivo complejo. Este aprendizaje consiste en un proceso de divergencia y convergencia desde una perspectiva de sistemas. Se entiende como una metodología proyectual incipiente que tiene como objetivo unificar el lenguaje proyectual del ingeniero y del diseñador para dar forma al ingeniero de diseño. El diseñador entiende el proceso desde múltiples niveles de componentes que interactúan, dentro de un sistema o conectados a otros sistemas. El ingeniero tiende a resolver problemas y aportar soluciones desde la ciencia aplicada, principalmente siguiendo modelos sistémicos. [Dym, 2005]

Para definir gráficamente el proceso proyectual aplicado desde la Ingeniería de Diseño Industrial en ELISAVA, se ha considerado importante que se presente desde las principales fases proyectuales, las

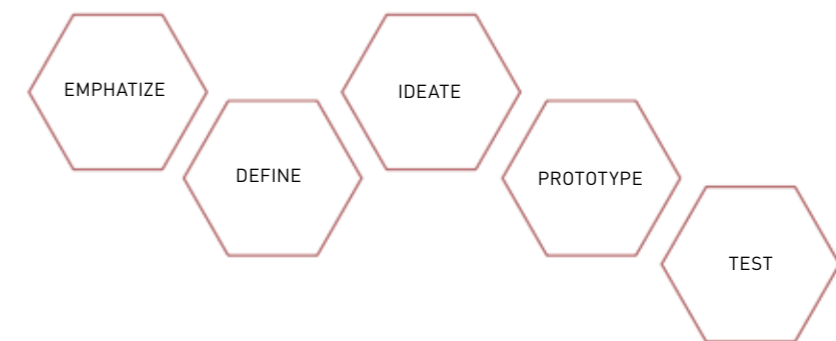
▼ Figura 1. Workflow en el proceso de una Ingeniería.



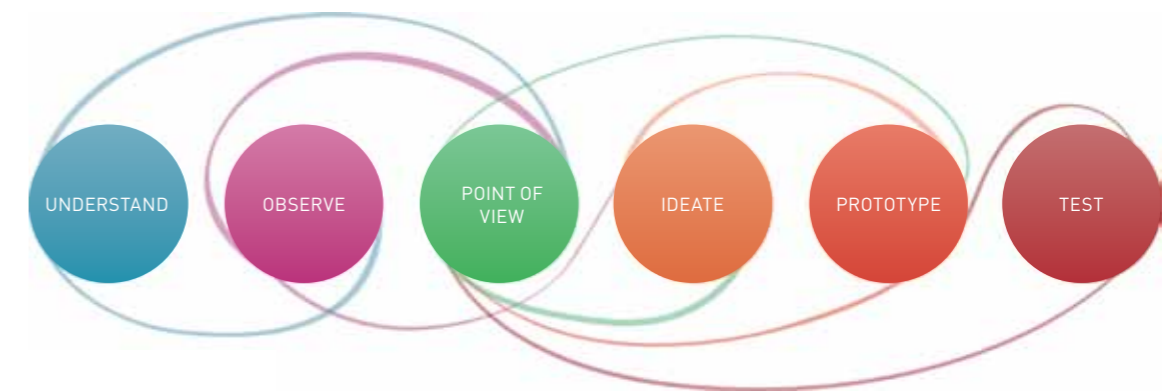
▼ Figura 2. Esquema de proceso Design Thinking, IDEO, 2008.



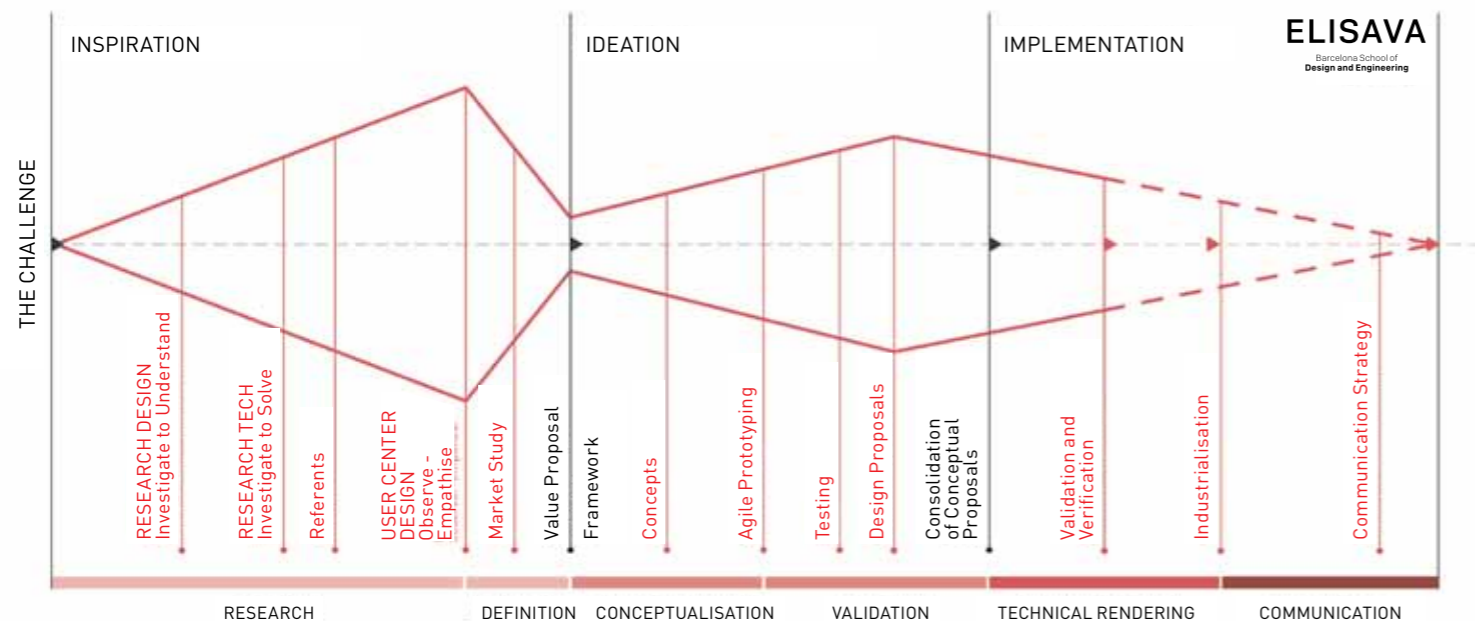
▼ Figura 3. Esquema de proceso Design Thinking, en d.school Hasso Plattner, Institute of Design at Stanford, 2009.



▼ Figura 4. Esquema de proceso en HPI School of Design Thinking Hasso Plattner, Potsdam University, 2009.



² Cita en el idioma original: «Engineering design is a systematic, intelligence process in which designers generate, evaluate, and specify concepts for device, systems or processes whose form and function achieve clients objectives or users needs while satisfying a specified set of constraints».



▲ Figura 5. Esquema de proceso proyectual en la Ingeniería de Diseño Industrial en ELISAVA.

etapas básicas que las conforman de manera que la representación del proceso a través de la divergencia y convergencia de fases y etapas permita el mejor entendimiento de dicho proceso en su totalidad. (Figura 5).

Al aplicar este proceso de trabajo, es necesario saber que no es lineal sino cíclico, por etapas que convergen hacia la solución final (figura 6). De la misma manera, que es necesario entender que la información generada en todas y cada una de las etapas del proceso, se convierte en un vínculo entre las partes implicadas que deben conocer y respetar para maximizar la eficacia del mismo.

El proceso de trabajo definido para la ingeniería de diseño que se ha planteado en este artículo está enfocado a fomentar la innovación, tiene como criterio de acción el diseño centrado en las personas, la búsqueda de la propuesta de valor y la diferenciación de soluciones técnicas mediante el uso de tecnologías de vanguardia, materiales avanzados y la simulación paramétrica para la mejora de la eficiencia técnica.

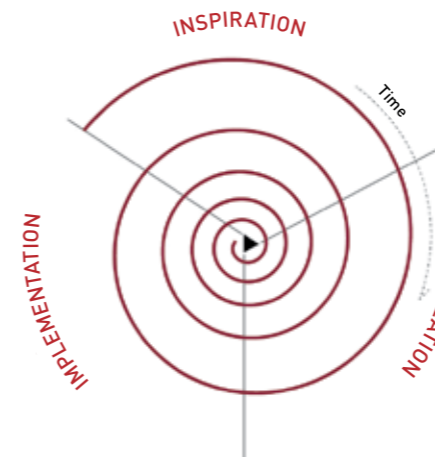
Este proceso se define desde un equipo multidisciplinar profesional y académico, con sólidos conocimientos de conceptualización, creatividad y desarrollo de producto con el objetivo de investigar,

observar y comprenden las necesidades de los retos planteados para finalmente proponer soluciones que aporten valor. Este modelo de trabajo es aplicable en diferentes tipologías de proyecto, de ello dependerá la implicación en mayor o menor peso de cada una de las etapas proyectuales.

INVESTIGACIÓN PARA LA INSPIRACIÓN DESDE UN RETO

En el proceso proyectual la investigación científica es básica para tener el conocimiento claro del reto planteado y necesario para la toma de decisiones. Dentro del proceso proyectual se entiende por **inspiración** a la etapa que busca comprender la problemática planteada sobre un ámbito y contexto definido. Se observa y empatiza con las necesidades del usuario, para descubrir y definir los *insights* que motiven la búsqueda de soluciones a un problema u oportunidad. En este punto del proyecto es de vital importancia el planteamiento de técnicas etnográficas, *Human-Centered Design* [IDEO, 2015] y co-creación para empatizar, comprender la problemática y usabilidad del producto.

Desde la investigación tecnológica se busca definir las posibilidades y oportunidades de creación



▲ Figura 6. Esquema de línea temporal en la dedicación por fases.

mediante el conocimiento de elementos y sistemas tecnológicos, así como la comprensión de la materia y procesado de esta como valor de inspiración en posibles vías de aplicación.

Una vez comprendido esto, se fomenta la búsqueda de referentes estéticos, formales o técnicos que ayudarán a crear un marco de trabajo más próximo a lo requerido. La inspiración requiere de un amplio estudio de mercado en el ámbito solicitado, análisis de los requerimientos de diseño, competidores y detección de las oportunidades de mercado. Para la comprensión del contexto se realiza el estudio del contexto socio-tecnológico y socio-cultural, así como la definición de referentes históricos del producto a investigar.

El ser investigados y comprendidos estos parámetros permite la definición de los *insights* que darán base al *framework* propio para la ideación y a plantear una propuesta de valor adecuada al reto del proyecto. El *framework* del proyecto se conforma mediante la toma de decisiones necesaria, basada en la investigación, para definir los requerimientos de diseño previos a las primeras ideas conceptuales.

La **propuesta de valor** se define después de un *research* exhaustivo de la problemática planteada, de la comprensión de las necesidades reales del usuario y del conocimiento obtenido del estudio de mercado y

competidores. Pone foco en cuanto a qué producto o servicio realizar, qué problemática se busca resolver, a quién va dirigido y cómo se plantea una propuesta diferenciadora en el mercado. La definición de la propuesta ayuda a la confección del *framework* en el que se incluye los requerimientos del proyecto, la base para afrontarlo con éxito, en toda su magnitud y globalidad.

IDEACIÓN PARA LA CONCEPTUALIZACIÓN DE PROPUESTAS INNOVADORAS

La **ideación** es a la etapa en la que se generan, desarrollan y se prueban ideas que puedan conducir a soluciones conceptuales. En esta fase del proyecto se requiere de una actitud creativa e imaginativa. Mediante el proceso creativo se proponen posibles conceptos que den respuesta al reto planteado. Mediante la etapa de prototipado ágil se busca idear y “pensar con las manos”, y para ello, se usarán técnicas de representación, comunicación y formalización ágil. A su vez, permite testear con el usuario una idea de forma eficaz con la intención de acercarse al máximo a propuestas conceptuales finales, de las cuales, una vez validadas, se hará la selección de las mejores a desarrollar.

Cuando la propuesta empieza a estar definida en usabilidad, funcionalidad, formalización, definición de detalles constructivos y viables, es cuando la ideación se aproxima a la implementación. En este punto del proyecto, el ingeniero de diseño, mediante herramientas de expresión gráfica comunicará forma, función y usabilidad; tendrá presente la selección de los materiales y procesos industriales más adecuados para la viabilidad del concepto planteado; y llevará a cabo los cálculos necesarios para validar el funcionamiento técnico y ergonómico mediante el uso de tecnologías de simulación paramétrica, así como el cálculo de ciclo de vida del producto y su impacto ambiental, social y económico. A su vez se trabaja con distintas tipologías de ensayos mecánicos, prototipado físico y de simulación virtual para el testeo técnico y consolidación de la propuesta final a implementar.

IMPLEMENTACIÓN DE UNA PROPUESTA DE DISEÑO CON GARANTÍA DE ÉXITO

En la etapa de **implementación** se ejecuta el proyecto técnicamente en detalle para su correcta industrialización. Se validan las normativas industriales y se define el pliego de condiciones. El uso de programas de simulación mecánica y estructural consolida los cálculos finales mejorando las variantes detectadas en los cálculos iniciales. Mediante el uso de herramientas de representación se prepara toda la documentación industrial que explica técnicamente componentes y grupos de ensamblaje, secuencias de montaje, procesos y logísticas de la industria. Paralelamente se definen los costes finales valorando componentes, logística y recursos.

Será vital la correcta preparación de la planificación de producción industrial (PRP) vinculada a todo el ecosistema de proveedores y manufactura del proyecto. Se determinan cada uno de los actores del proceso requerido para que la implementación en el mercado sea exitosa.

Para implementar, se requiere de un conocimiento de industrialización, pero será clave el conocimiento de la gestión del diseño, así como desarrollar la capacidad de comprensión de la industria y mercado con el fin de poder gestionar la propuesta de diseño y garantizar que llegue al mercado. También será necesario ser capaz de tener una visión interdepartamental en empresas y visionar el alcance del proyecto con objetividad. Esta fase del proyecto requiere de conocimientos legales, de normativas industriales y patentes, así como de condicionantes de entorno local y global.

La implementación se concluye al aplicar las estrategias de comunicación que facilitan la comprensión de la propuesta, así como el aporte de valor al mercado.

Es en este momento cuando se pone de manifiesto el global del proyecto realizado. Es el momento de entender si una idea ha sido correctamente pensada y desarrollada, o si se ha perdido valor en alguna parte del proceso de diseño ingenieril. La implementación define la capacidad de innovación del ingeniero en diseño en todo el proceso, y valida si ha sido capaz

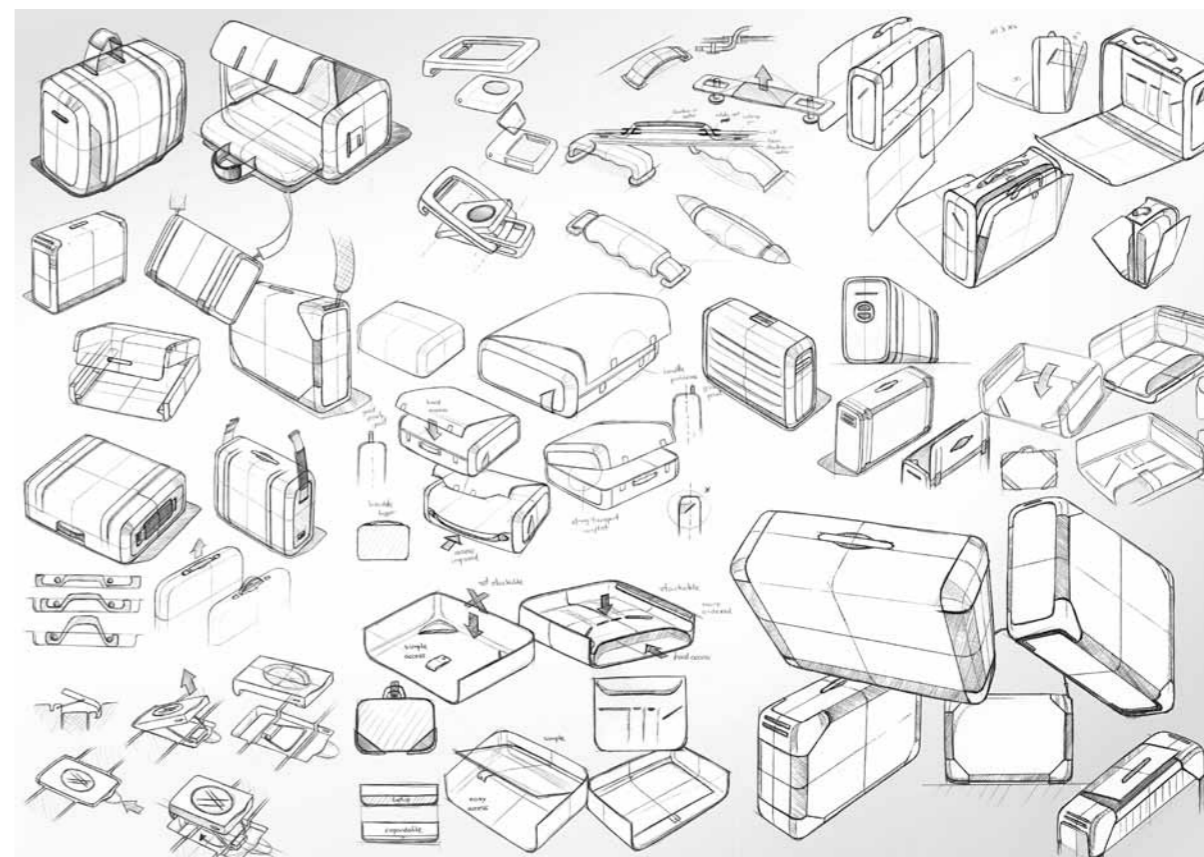
de comprender la problemática planteada para una propuesta de solución adecuada a las necesidades del usuario, asegurando una industrialización adecuada. Estos sistemas de validación permiten aproximarse a un resultado de éxito en el mercado.

Expresión y representación: prospección y comunicación

La capacitación del ingeniero en la expresión y representación del producto, es básica pues da soporte a todo el proceso proyectual, y a la comunicación del producto.

Es fundamental asentar los conocimientos de geometría además de potenciar la capacidad de observación de los futuros ingenieros. En el Grado en Ingeniería de Diseño el proceso se inicia con el dibujo a mano alzada, dibujando básicamente producto en sistema diédrico y en perspectiva cónica (técnica del bocetado). El aprendizaje del bocetado es metódico y permite a los alumnos controlar un proceso efectivo de expresión del producto [Eissen 2011] (figura 7). Posteriormente se trabaja el modelado digital en sistema diédrico usando una herramienta CAD 2D (AutoCAD de AutoDESK).

En la realización del proyecto técnico, la construcción del modelo digital 3D paramétrico del producto completo permite trabajar el ajuste estático de las partes que lo conforman, y también constituye la base de simulación del funcionamiento del producto, como se verá en el apartado de Simulación de producto. Del modelo digital se puede obtener de forma casi inmediata un modelo impreso en 3D, usado para verificar la bondad del volumen, realizar ciertos ajustes de piezas, tener una visión realista del conjunto y la construcción de prototipos. Un modelo digital 3D depurado permite generar la documentación técnica que se debe compartir con las contrapartes que intervienen en las fases de industrialización del producto, a destacar proveedores, responsables de líneas de producción, de calidad y de logística. A partir del modelo 3D también se genera información necesaria para incluir en los manuales de uso del producto, y de los procesos de desunión o despiece, y reutilización o reciclado de sus componentes.



▲ Figura 7. Bocetos del proyecto VIATOR.

Actualmente, y en la mayoría de sectores industriales, los planos del proyecto, definitivos y homologados, son el documento sobre el que trabajaran todas las partes que intervienen en la industrialización del producto. Es por tanto ineludible que el ingeniero de diseño industrial domine la formalización del dibujo técnico con los códigos propios de la normativa, la representación del objeto desde una perspectiva geométrica y métrica, de funcionalidad, considerando su proceso de fabricación, su tecnología, su montaje y su final despiece.

En la ingeniería de ELISAVA el futuro profesional se instruye en el modelado 3D digital en entornos CAD paramétricos y en el dominio de la comunicación del producto mediante planos en base a normativa, tanto en un entorno CAD puramente 2D como en entornos CAD 3D-2D paramétricos. Con estos últimos, primero se modela en 3D para, posteriormente, realizar los planos en base a las proyecciones diédricas generadas automáticamente por el sistema.

Los entornos CAD 3D permiten realizar el renderizado del modelo digital, hecho que permite tra-

bajar sobre él distintas opciones de acabados y crear contextos de uso, con una apariencia altamente realista que podrán ser usados en la comunicación del producto.

Tecnologías de vanguardia: integración y conectividad

Los avances tecnológicos de los últimos 20 años han sido fundamentales para que conceptos como *Embedded Technology*, *Virtual Reality*, *Augmented Reality*, *Ubiquitous Computing*, y un largo etcétera, se asocien de forma implícita, ya ahora, al diseño de producto. El alto nivel de integración y el abaratamiento de la tecnología están permitiendo su fácil incorporación en productos cotidianos.

Actualmente, la tecnología es un parámetro más a considerar en la creación de un producto. Productos de sectores tan amplios y diversos como la automoción, el deporte, la salud, el ocio y los electrodomésticos ya no se entienden sin su tecnología integrada (*Embedded Technology*).

La *Virtual Reality* (sistemas inmersivos multisensoriales de respuesta a tiempo real), y su hermana menor la *Augmented Reality* (modificación de la per-

cepción de la realidad en tiempo real), ha entrado en nuestras casas con el ocio (Wii, Kinect,...) [Roudavski, 2010], pero se ha implantado en otros muchos ámbitos [Behringer, 1999] [Lee, 2012] [Liao, 2010] [Ong, 2010] y ha implicado a todos los productos relacionados con su uso.

La denominada *Internet of Things* (IoT) es la actualidad del concepto *Ubiquitous Computing* que Marc Weiser definió en 1988 [Weiser, 1991], “computación ubicua, o la era de la tecnología calmada, cuando la tecnología se desvanece en el fondo de nuestras vidas”. Weiser tenía una visión de dispositivos baratos, pequeños y robustos conectados en red, abarcando todos los ámbitos de la vida cotidiana, y en eso está deviniendo la IoT.

Todo este entorno tecnológico está propiciando algo revolucionario: incrementar las funcionalidades de productos ya concebidos y abordar necesidades no resueltas o resueltas de forma poco eficiente. Implícitamente, están surgiendo nuevos paradigmas de interacción persona-producto.

Los ingenieros de diseño industrial tienen ante sí este inmenso panorama creativo. Es importante que conozcan las posibilidades que ofrecen las nuevas herramientas tecnológicas, *hardware* y *software*, y que dispongan de capacidades para trabajar con ellas y obtener el máximo partido.

El desarrollo de proyectos en entornos *Open Source*, de tecnologías muy económicas o simplemente gratuitas, tanto de programación como de electrónica, con sus comunidades de creativos que comparten experiencias y soluciones, permite a los estudiantes del Grado en Ingeniería de Diseño Industrial obtener una muy buena capacitación para el control de las nuevas tecnologías.

PROGRAMACIÓN DE ENTORNOS DE REALIDAD VIRTUAL

La informática es una materia básica en los planes de los grados en Ingeniería de Diseño Industrial. En la

Ingeniería de ELISAVA, el objetivo es capacitar al futuro ingeniero en el diseño y programación de aplicaciones informáticas que le permitan experimentar los conceptos de interacción persona-producto, diseño de interfaces, UX (*User Experience*), y usabilidad. Las aplicaciones de *Virtual Reality* son idóneas para trabajar dichos conceptos, pero además capacitan al futuro ingeniero en el uso de equipamiento de tecnologías avanzadas.

[Informàtica, 2014] es la referencia de un video que recoge varias aplicaciones de *Virtual Reality*, con interacción en primera persona a escala 1:1 (interacción directa de todo el cuerpo del usuario con el objeto digital) [Parés, 2013], con soporte de tecnología de Visión Artificial [Moute, 2011]. Las aplicaciones que se muestran se han realizado en Processing, pero el futuro ingeniero también trabaja en el entorno UNITY, con el lenguaje de programación C#³. Este entorno permite desarrollar otros modelos de interacción (por ejemplo, *Augmented Reality*) con los que puede hacer uso de una variedad de tecnologías como tabletas, móviles, LeapMotion, o KINECT.

INTEGRACIÓN DE TECNOLOGÍA EN EL PRODUCTO

Para iniciarse en la integración de tecnología en el producto, el futuro ingeniero de diseño trabaja con Arduino, sistema económico y sencillo que le permite crear productos interactivos.

Arduino se basa en un microprocesador programable mediante un lenguaje de alto nivel, de alto parecido a Processing, que puede operar con gran variedad de sensores y actuadores, y con elementos de comunicación. Este hecho permite crear tanto productos que interactúan con el usuario como productos que interactúan con otros productos, es decir desarrollar aplicaciones del *Internet of Things*.

Como ejemplo de producto interactivo realizado con Arduino por alumnas de ingeniería de ELISAVA, se puede mencionar el proyecto L8266 [Parodi, 2015]. Se trata de un objeto que reacciona a la presencia de redes WiFi, modulando su emisión de luz.

Experiencias a través de la materia

En la infraestructura material del mundo actual podemos encontrar una gran diversidad de materiales impulsados en gran medida por los avances en la tecnología. El avance tecnológico de los materiales y las mejoras en las tecnologías de manufactura han sido decisivas para el desarrollo de producto y han afectado a las decisiones sobre el uso de materiales del ingeniero de diseño. Del mismo modo, los nuevos materiales emergentes, junto con el aumento de la demanda de adoptar un discurso de sostenibilidad que incluya el vector ambiental, hace que estemos retando continuamente al ingeniero de diseño en sus competencias en selección de materiales [Karana, 2015].

Tres de las oportunidades clave en la experiencia con los materiales son: ser un potencial para crear sensaciones y emociones; lograr experiencias dinámicas y lograr experiencias personalizadas.

DE LAS PROPIEDADES TÉCNICAS A LAS SENSORIALES

La funcionalidad de un producto no es el único factor que determina hoy en día el consumo, sino que está aumentando el interés por su lado más intangible, por sus propiedades emocionales como moderno, honesto o sofisticado [Karana, 2009]. Los materiales tienen un carácter morfológico, son función, expresión y estructura. Hay quienes comparan los materiales con las palabras, siendo nuestro vocabulario más rico en materiales, cuanto mayor es el número de soluciones que podemos llegar a expresar [Alesina, 2010]. Actualmente existen más de 160.000 materiales comerciales diferentes [Ashby, 2007]. Esto hace que el conocimiento que se tiene de ellos sea generalmente abstracto y basado en fichas técnicas. Sin embargo, hay un creciente interés por este lado intangible, emocional y de significados de los materiales [Karana, 2009].

En este proceso se propone una aproximación a los materiales que combina el conocimiento técnico y el emocional. Esto lleva a encontrar nuevas formas de experimentar en el diseño industrial, mediante la colaboración con centros de materiales tipo Materfad, que cuenta con una base física de datos de

más de 5.000 materiales innovadores [Peña, 2008]. La imagen del material y los numerosos referentes a algunas de sus propiedades físicas ya no es suficiente. Hay una necesidad cubierta por Materfad que es poder tocar, oler, oír y sentir los materiales.

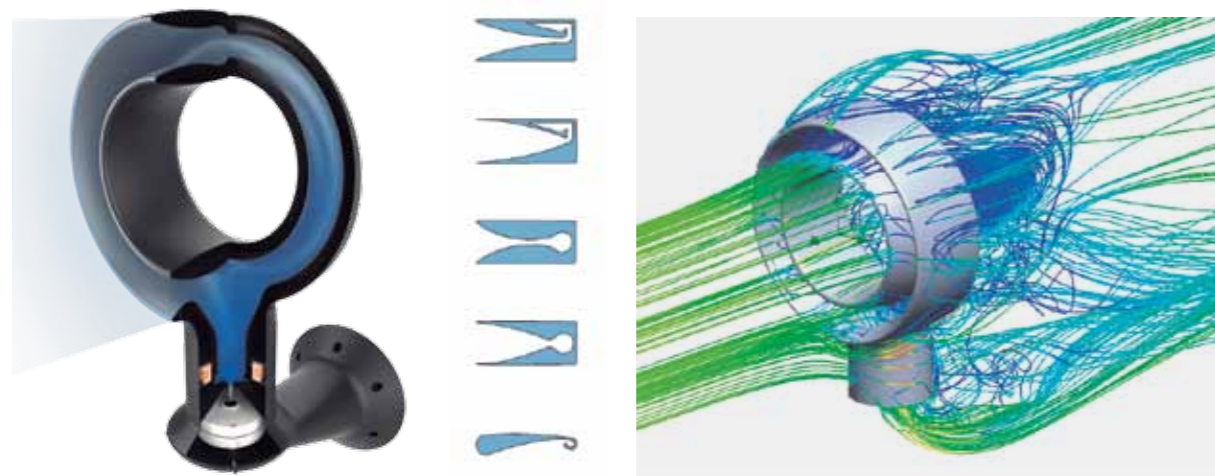
EXPERIENCIAS DINÁMICAS

En las experiencias dinámicas los materiales funcionales o inteligentes juegan un papel importante por su capacidad de transformar energía, de adaptarse al entorno y/o de cambiar sus propiedades ante estímulos externos. Además de su función pasiva producen una acción activa, como cambiar de forma, de color, de propiedades físicas, por ejemplo por la intervención humana. Dejan de ser un objeto estático para ser algo dinámico que reacciona con el entorno. Sus características desconocidas, únicas, tienen un gran potencial para sorprender, para provocar una experiencia estimulante si son utilizadas en un contexto adecuado [Rodríguez, 2014]. Existe una dificultad elevada para estandarizar las propiedades de los materiales funcionales por lo que el ingeniero de diseño necesita experimentar con ellos para entender mejor su funcionamiento y poder así usarlos en el desarrollo de sus proyectos. Los futuros profesionales tienen en ELISAVA la oportunidad de experimentar con estos materiales a través de prácticas de laboratorio.

EXPERIENCIAS PERSONALIZADAS

En una era de abundancia de productos manufacturados, en la que la gente busca formas de personalizar sus pertenencias y hacerlas únicas, el avance tecnológico proporciona la oportunidad para crear experiencias personalizadas con los materiales y autoedición de productos de diseño. Los avances tecnológicos dan al ingeniero de diseño la oportunidad de, mediante la fabricación aditiva (fabricación de un objeto tridimensional mediante la superposición de capas sucesivas de material), forzar los límites de la materia bajo la premisa “puedo fabricar aquello que soy capaz de imaginar”.

³ Processing y C# son lenguajes de alto nivel, completos, sencillos y de gran potencia, que disponen de sendos entornos de desarrollo y cuentan con una extraordinaria comunidad de desarrolladores.



▲ Figura 8. Proyecto OXO. Optimización de la sección mediante simulación fluidodinámica.

Simulación de producto

La fase de desarrollo de un producto es cada vez más exigente en la necesidad de reducir el tiempo de realización del prototipo final, ya que esta reducción de tiempo repercute directamente en los costes asociados al proyecto. Por este motivo la utilización de las herramientas de simulación (estructural, dinámica, cinemática, ergonómica, térmica, fluidodinámica...) se muestra cada vez más imprescindible en la validación ágil de las diferentes etapas de desarrollo de producto.

Las empresas que utilizan la simulación y las tecnologías de impresión 3D como herramientas habituales en el diseño y la ingeniería de producto, reducen considerablemente los costes de desarrollo técnico del producto y esto les permite ser más competitivas en su entorno. La transformación que se está experimentando es un salto cualitativo importante, de tal manera que las empresas que no apuesten claramente por estas nuevas tecnologías CAx (CAD/CAM/CAE)⁴, difícilmente llegarán a ofrecer productos con un precio competitivo al mercado, a la vez que están poniendo en duda la continuidad de la propia empresa.

El futuro ingeniero de diseño, ha de conocer las tecnologías de análisis multifísica, basadas en el método de elementos finitos (FEM)⁵, haciendo especial énfasis en la interpretación y evaluación de resultados. Un papel destacado ocupa la simulación estructural que permite evaluar y hacer estimaciones fiables de valores de fuerzas, tensiones y deformaciones de una pieza o un producto sometido a unas sollicitaciones y restricciones de contorno y a unas cargas estáticas o dinámicas. De esta manera, se tomarán



▲ Figura 9. Proyecto OXO. Simulación estructural. Cálculo de las tensiones y deformaciones al aplicar las cargas.

⁴ CAx: Computer-Aided Technologies, CAD: Computer-Aided Design, CAE: Computer-Aided Engineering, CAM: Computer Aided Manufacturing.

⁵ Finit Element Method.

decisiones importantes como pueden ser el diseño de la forma de un nervio, el radio mínimo de conexión entre superficies, el grosor de una pieza o la elección del material en función del coeficiente de seguridad requerido.

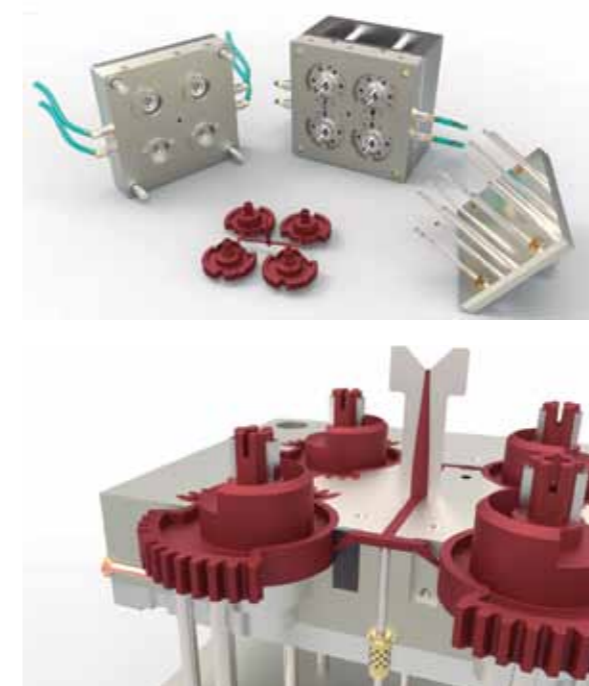
El hecho de poder calcular las tensiones que tienen lugar en una pieza o conjunto de piezas, a las que se aplican unas determinadas cargas y condiciones de contorno, permite validar de manera rápida si el diseño del producto es el adecuado, atendiendo a su resistencia estructural y a las deformaciones existentes.

Un ejemplo de esta metodología aparece en el proyecto OXO, donde se desarrolló un sistema de generación de energía eólica para embarcaciones. En la figura 8 se aprecia el estudio fluidodinámico realizado, en el que la simulación del comportamiento de las trayectorias del aire, así como de las presiones y posibles turbulencias generadas, fueron factores imprescindibles para decidir la sección de entrada del aire y la forma más adecuada de canalización del mismo, para así poder minimizar las pérdidas

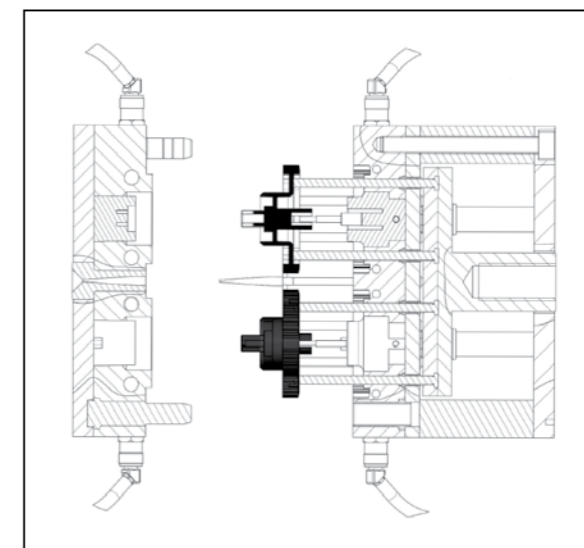
de presión y obtener un elevado rendimiento en la generación de energía eléctrica eólica.

La simulación estructural permite calcular las tensiones y deformaciones que soportan las piezas más solicitadas, para optimizar el material y obtener coeficientes de seguridad adecuados a las condiciones de contorno máximas. Para ello es necesario realizar un mallado adecuado de la pieza o conjunto a analizar, para que los resultados del cálculo estructural sean lo más aproximados posibles a las sollicitaciones reales del producto. También es necesario que la estimación de las fuerzas máximas aplicadas y el tipo de restricción en los enlaces de las diferentes piezas, se realice analizando detalladamente el producto real.

También las herramientas de simulación del proceso de inyección de materiales plásticos, ayudan a decidir variables como el número de cavidades de un molde, la posición del punto de inyección, la presión necesaria para el llenado correcto de un molde o el tiempo del ciclo de inyección. Asimismo la simulación cinemática y dinámica permite el análisis de las posiciones, velocidades, aceleraciones y el cálculo de las fuerzas de reacción, en las diferentes posiciones características y críticas del funcionamiento de un mecanismo.



▲ Figura 10. Proyecto de Molde de Inyección de 4 cavidades.



La integración de estas tecnologías CAx en el proceso de diseño permiten al ingeniero replantear la definición del producto con estimaciones de su comportamiento frente a solicitaciones de uso definidas. La integración de las tecnologías de simulación en el proceso de diseño, no sólo ofrecen una mejora directa sobre el producto obtenido, sino que reduce la inversión en prototipado y el *time-to-market* del producto.

El reto del ingeniero en diseño industrial consiste en saber integrar los diferentes aspectos funcionales, ergonómicos y formales del producto, con el conocimiento de los diversos condicionantes técnicos, para llegar a una solución formalmente atractiva pero a la vez viable industrialmente.

De esta manera resulta imprescindible el conocimiento de las herramientas de simulación y la correcta interpretación de los resultados obtenidos, así como el conocimiento de las nuevas tecnologías de fabricación. El resultado de esta integración es el diseño ágil y eficaz que le llevará a obtener una solución óptima para la fabricación del producto.

Visión de empresa y de negocio

En el panorama económico-social actual, derivado de la profunda crisis sufrida a nivel mundial a partir de finales del 2008 [UN, 2011], es un valor que el futuro ingeniero de diseño desarrolle un perfil emprendedor, no solo con el objetivo de llevar adelante un proyecto propio de empresa. La competitividad global [Braun, 2005] imprime en las empresas la necesidad de contar con perfiles profesionales que puedan generar estrategias ágiles que aseguren su éxito y continuidad en el tejido industrial global.

El ingeniero de diseño debe entender y gestionar los factores de creatividad, conocimiento, innovación, capital intelectual y material de la empresa, así como la visión de dicha empresa. Por tanto, requiere herramientas que le permitan interpretar el entorno económico, social e industrial. Debe poder estimar, desde el inicio del proyecto [Ries, 2011], la viabilidad del producto industrial a desarrollar mediante la evaluación no solo de los aspectos técnicos y de eco-sostenibilidad (visión de todo el ciclo de vida), si

no también económicos, productivos y comerciales.

En ELISAVA se considera que la generación de plan de negocio para un producto o servicio, es un proyecto que permite al futuro ingeniero encarar con altas capacidades su inserción en el mundo empresarial. En la realización de dicho proyecto el futuro profesional debe: evaluar y validar hipótesis de ideas de producto y las necesidades que cubre, estudiando su oportunidad de negocio en el entorno macro, microeconómico y de competencia; definir el posicionamiento y la percepción de valor del producto (plan de marketing); analizar las implicaciones industriales y de organización de la empresa para optimizar actividades y recursos (humanos y materiales); abordar la dimensión económica y financiera, en la que se destaca el establecimiento de un plan de inversión y el tipo de financiación al que se recurre, todo ello en el marco jurídico actual.

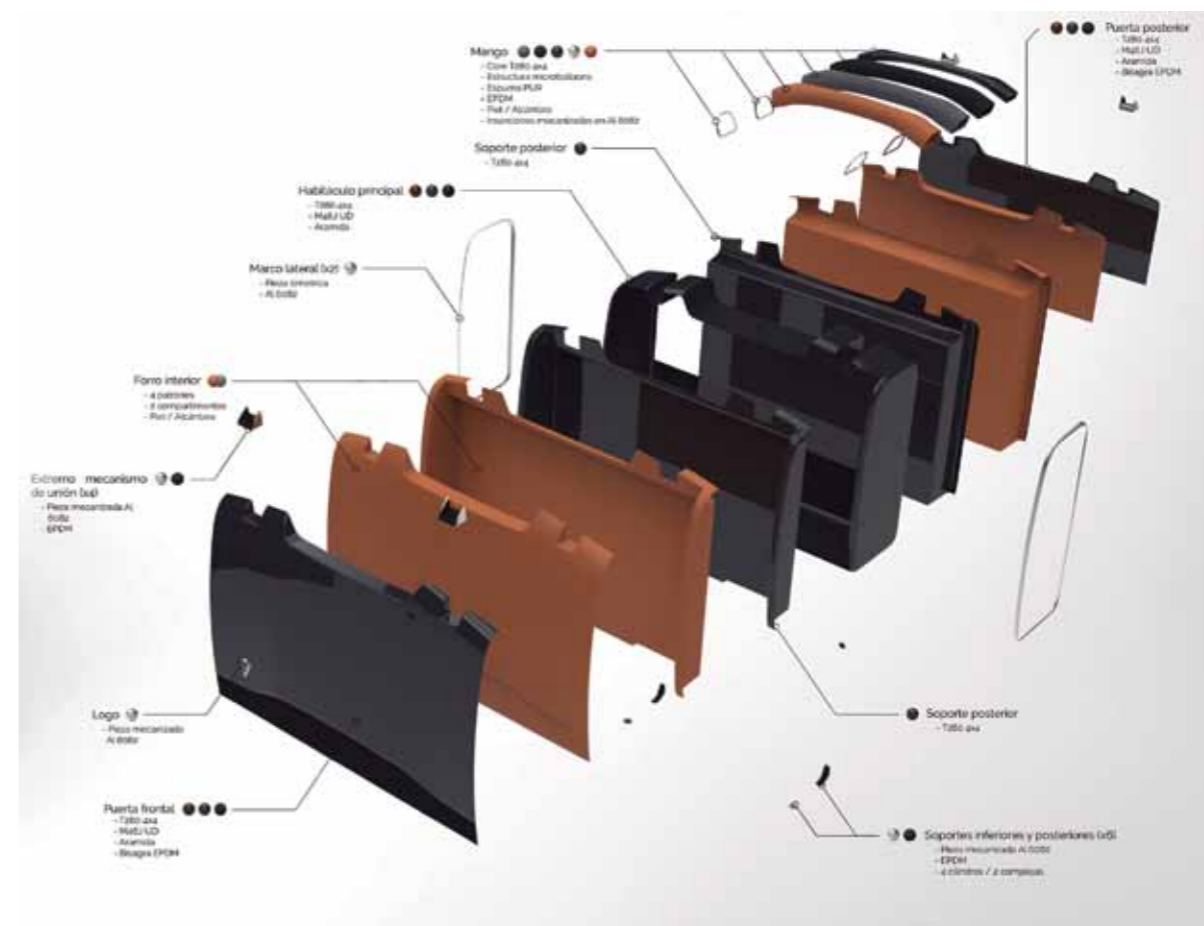
Resultados obtenidos

En el proceso proyectual de la Ingeniería de diseño industrial de ELISAVA se ha incorporado a la empresa como interlocutora y catalizadora en la validación de los resultados, con el objetivo final de dar un salto cualitativo y cuantitativo en el diseño y desarrollo de producto. Este hecho posibilita que los alumnos puedan participar en proyectos reales de empresa haciendo crecer la excelencia en su proceso de aprendizaje.

VIATOR

Viator es un maletín especializado para el sector *business* y fabricado en materiales de alta calidad como fibra de carbono, piel y alcántara. El objetivo del proyecto es el lanzamiento al mercado de un accesorio de viaje muy funcional, estético y ligero.

En este proyecto se han puesto en práctica las competencias adquiridas de expresión y representación. En la figura 7 se muestran algunos bocetos de propuestas exploratorias de varias opciones de geometría, sistemas de cierre y de sujeción del proyecto Viator. En la figura 11 también se puede apreciar cómo el renderizado del modelo digital del maletín ha permitido trabajar sobre él distintas opciones de acabado con una apariencia altamente realista.



▲ Figura 11. Imágenes de renderizados y del prototipo final del proyecto Viator.

Desde el punto de vista de los materiales Viator es un ejemplo de proyecto que combina el uso de las propiedades técnicas y emocionales. En este producto la fibra de carbono se deja a la vista para connotar profesionalidad, *high-tech*, y enfatizar el alto nivel de ingeniería de un producto. Estas propiedades emocionales derivan del hecho de que es un material resistente, ligero, duradero y robusto.

En el desarrollo de este proyecto se ha colaborado con las empresas Exploded View y Magma Composites para el asesoramiento y validación del diseño, el desarrollo de piezas hechas en materiales compuestos y la realización del prototipo funcional.

Como visión de empresa y de negocio, y debido a que se trata de un producto con futuro comercial, ha sido necesario crear una marca y un nombre que lo defina, *The Carbon Maker*. También es interesante



destacar en este proyecto que el estudio de costes del primer escandallo de piezas ha derivado un precio de venta al público muy superior al adecuado para el sector de mercado al que su plan de marketing quiere acceder. Este hecho ha llevado a rehacer el proyecto

técnico, se ha cambiado el material de algunas piezas (marcos laterales) y simplificado un conjunto de piezas (mecanismo de unión por pasado de centros) para abaratar los costes variables.

OXO

El Proyecto OXO es la respuesta a la creación de un sistema de generación de energía minieólica. En su planteamiento inicial, el producto se diseña y desarrolla para atender las necesidades energéticas de las embarcaciones que participan en la Barcelona World Race, aunque su utilización podría extenderse a otros ámbitos donde sea necesario obtener energía eólica. En este proyecto se ha dado solución a 3 aspectos esenciales: optimización de las formas más eficientes del miniaerogenerador para conseguir rendimientos elevados, diseño y desarrollo del soporte con el que



▲ Figura 12. Proyecto OXO. Renders de producto final.

se fija a la embarcación y estudio de la canalización del sistema eléctrico.

Para llevar a cabo a cabo este producto, ha sido necesario incluir una serie de ensayos empíricos, simulaciones de comportamiento de fluidos y cálculos estructurales con herramientas CAE, que han ido modelando su aspecto y han ayudado sin duda a tomar la mayoría de decisiones técnicas y formales.

También en el estudio de referentes, ha sido clave el análisis del diseño provocador de los ventiladores Dyson, que ha estimulado a los autores a conseguir



▲ Figura 13. Proyecto OXO. Componentes explosionados del producto.



▲ Figura 14. Imágenes de comunicación de Morph. Fotografía proporcionada por kiwibravo, www.kiwibravo.com

una solución robusta, pero que cumpla las condiciones formales necesarias para que la trayectoria del aire sea la adecuada a nivel energético.

En la realización de este proyecto han colaborado varias empresas y entidades, como la empresa Navitas Paradigma —empresa especializada en el ámbito de las energías renovables—, la Fundación de Navegación Oceánica de Barcelona —organizadora de la Barcelona World Race—, el FabLab de Les Corts, el Ayuntamiento de Barcelona y finalmente el estudio de diseño Fáctil. En la Ingeniería de Diseño de ELISAVA, la colaboración con empresas y entidades en los Trabajos Finales de Grado es un aspecto vital e imprescindible que ayuda a dar viabilidad y sobre todo a validar las soluciones finales presentadas.

MORPH

Morph es una prótesis mioeléctrica de mano para amputados transradiales de bajo coste (figura 14). Este Trabajo de Fin de Grado se ha realizado en el marco de colaboración entre ELISAVA y LEITAT Technological Center.

El *briefing* del proyecto Morph imponía retos considerables: fácil colocación y extracción, ser personalizable a las condiciones anatómicas de cada usuario, fácil mantenimiento, piezas recambiables, estar equipado con una batería que proporcione autonomía, y tener un coste muy económico, por debajo de las prótesis comerciales actuales.

De la fase de investigación del proyecto se destaca el estudio exhaustivo biomecánico de la mano y las prensiones que realiza dicha extremidad. Este estudio permite extraer los movimientos que debe



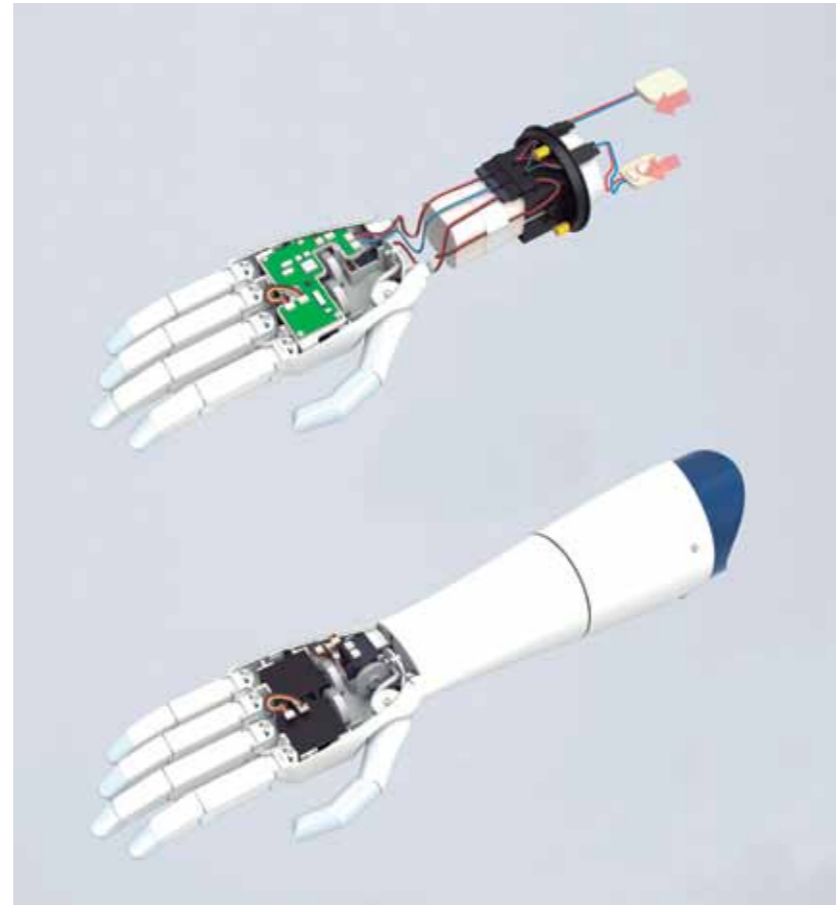
▲ Figura 15. Sección de un dedo que muestra el diseño de las articulaciones, fabricado en una sola pieza gracias a la fabricación aditiva por sinterizado láser. Fotografía proporcionada por kiwibravo.

▼ Figura 16. Control del motor servo que genera el movimiento de un dedo a partir de las señales electromiográficas producidas en la contracción y relajación de un músculo.



realizar la prótesis y trabajar su simplificación a nivel mecánico.

Un intenso trabajo de testeo cinemático y motor de diferentes prototipos realizados con impresión 3D ha permitido reducir el número de elementos (objetivo para disminuir el coste de producción). Cada dedo se ha sintetizado en una sola pieza que incorpora articulaciones singulares de las falanges. Se han ideado, prototipado y ensayado varias geometrías de articulación hasta obtener aquella que permite los movimientos de flexión y extensión requeridos (figura 15), y que pueden ser controlados por un simple hilo de nylon (material elegido con un proceso estándar



▲ Figura 17. Disposición en el dorso de la mano de los servo motores y la placa pcb de control.

de selección de materiales), que realiza la función de los tendones.

La morfología de la palma y el dorso de la mano, y la dimensión de los hilos/tendones se ha ajustado usando herramientas de simulación estructural (CAE).

Para transmitir movimiento a las articulaciones de los dedos, la prótesis usa señales electromiográficas, producidas en la contracción y relajación de músculos. En la figura 16 se muestran sensores electromiográficos controlando el motor servo que tensa el hilo de un dedo. En el producto definitivo, el procesado de la señal de los sensores se implementa con un circuito impreso específico (figura 17), pero en la fase de testeo se modeliza con Arduino.

Con el objetivo de facilitar la personalización de este producto y la reposición de piezas, todo a un coste muy bajo, se usa tecnología de fabricación aditiva por sinterizado láser. Es de destacar la facilidad de montaje del producto resultante.

Reflexión final

Para concluir cabe destacar que el perfil del ingeniero en diseño en ELISAVA es un profesional con cultura del diseño que interpreta el momento a la vez que prefigura el futuro y se forma en tener una visión del alcance de la problemática para generar, evaluar y construir ideas realizables, con una actitud emprendedora. Es una persona que observa, comprende y empatiza con el usuario para proponer soluciones adecuadas a problemáticas detectadas. Se puede decir que tiene un pensamiento integrador. Tiene facilidad para el testeo y experimentación. De esta manera, el Grado en Ingeniería de Diseño Industrial forma a profesionales competentes para proyectar para la eficacia, convirtiéndose en una figura imprescindible para reducir la incertidumbre en la toma de decisiones en las distintas fases del proyecto.

Agradecimientos

Gracias a Igor Bregaña y Miguel González (Proyecto final de grado OXO), Pol Suriñach (Proyecto final de grado Viator), Oriol Bertomeu (Proyecto final de grado Morph), Aleix Carricondo, Jordi Domínguez, Oriol Farran y Adrià García (Proyecto de diseño de moldes) por el trabajo realizado y por ceder las imágenes de sus proyectos.

Bibliografía

- [Alesina, 2010] Alesina, I., Lupton, E. *Exploring Materials: Creative Design for Everyday Objects*. Princeton: Architectural Press (2010).
- [Ashby, 2007] Ashby, M.F., Schercliff, H., Cebon, D. *Materials engineering science, processing and design*. Oxford: Elsevier (2007).
- [Behringer, 1999] Behringer, R., Klinker, G., Mizell, D. "Augmented Reality - Placing Artificial Objects in Real Scenes". En: *Proceedings of IWAR '98*. A.K. Peters, Natick (1999).
- [Braun, 2005] Braun, M., Raddatz, C. *Trade Liberalization and the Politics of Financial Development*. Washington, D.C.: World Bank, Development Research Group, Investment and Growth Team (2005).
- [Brown, 2008] Brown, T. *Design Thinking*. Harvard Business Review, pp. 84-95 (2008).
- [Clive, 2006] Clive, L., Dym, C. "Engineering Design: So much to learn". En: *International Journal of Engineering Education*, pp. 422-428(7) (2006)
- [Dym, 2005] Dym, C., Agogino, A., Eris, O., Frey, D., Leifer, L. "Engineering Design Thinking, Teaching, and Learning". En: *Journal of Engineering Education*, pp. 103-120 (2005).
- [IDEO, 2015] IDEO. *The Field Guide to Human-Centered Design*.(2015).
- [Ertas, 1996] A. Ertas, J.C. Jones. *The engineering design process*. (2nd ed.)Wiley (1996).

- [Informàtica, 2014] Informàtica (GEDI) @ ELISAVA, *Final Projects* [en línea]. Vimeo. [Consulta: 15 enero 2016]. Disponible en: <http://vimeo.com/109907348>.
- [Karana, 2009] Karana, E., Hekkert, P., Kandachar, P. "Meanings of materials through sensorial properties and manufacturing processes". En: *Materials & Design* 30: 2778-2784 (2009).
- [Karana, 2015] Karana, E., Pedgley, O., Rognoli, V. "On Materials Experience". En: *Design Issues*, 31 (3): 16-27 (2015).
- [Lee, 2012] Lee, K. "Augmented Reality in Education and Training". En: *Tech Trends: Linking Research & Practice To Improve Learning* 56 (2). Retrieved 2014-05-15 (2012).
- [Liao, 2010] Liao, H. *Medical Imaging and Augmented Reality: 5th International Workshop, MIAR 2010, Beijing, China, September 19-20, 2010: Proceedings*. Berlín: Springer Verlag (2010).
- [Moute, 2011] *MouTe*. [En línea]. Joan Soler-Adillon. [Consulta: 15 enero 2016]. Disponible en: <http://moute.joan.cat/> 2011.
- [Ong, 2010] Ong, S.K., Nee, A.Y.C. *Virtual and Augmented Reality Applications in Manufacturing*. Guildford, Surrey: Springer London (2010).
- [Pahl, 2007] G. Pahl, W. Beitz, H.-J. Schulz, U. Jarecki, KB Wallace, TM Lucienne, *Ingeniería de Diseño (Eds.): Un Enfoque sistemático* (edición Tercera), Springer Verlag (2007).
- [Parés, 2013] Parés, N., Altimira, D. "Analyzing the Adequacy of Interaction Paradigms in Artificial Reality Experiences". En: *Human-computer Interaction* 28: 77-114 (2013).
- [Parodi, 2015] Parodi, J., Porcuna, E., Lloret, L. *L8266* [En línea]. Vimeo. [Consulta: 15 enero 2016]. Disponible en: <https://vimeo.com/147962268>.
- [Peña, 2008] Peña, J. *Mater*. Tesis. Barcelona: FAD, Foment de les Arts i el Disseny (2008).
- [Ries, 2011] Ries, E. *The Lean Startup: How Today's Entrepreneurs Use Continuous Innovation to Create Radically Successful Businesses*. New York: Crown Business (2011).
- [Rodríguez, 2014] Rodríguez, E.R. "Industrial design strategies for eliciting Surprise". En: *Design Studies* 35: 273-297 (2014).
- [Roudavski, 2010] Roudavski, S. *Virtual Environments as Techno-Social Performances: Virtual West Cambridge Case-Study*, en CAA-DRIA2010: New Frontiers, the 15th International Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia, ed. by Bharat Dave, Andrew I-kang Li, NingGu and Hyoung-June Park, pp. 477-486 (2010).
- [Sheppard, 2003] Sheppard, S. D. *A Description of Engineering: An Essential Backdrop for Interpreting Engineering Education*, Harvey Mudd College (2003).
- [Steinbeck, 2011] Steinbeck, R. "El design thinking como estrategia de creatividad en la distancia". En: *Revista científica de educación* (2011).
- [Suran, 2015] Suran, S., Bryden, K. M. "Integrating a reduced-order-model server into the engineering design process". En: *Advances in Engineering Software*, pp. 169-182 (2015).
- [UN, 2011] *The Global Social Crisis: Report on the World Social Situation 2011*. New York: United Nations Publications(2011).
- [Weiser, 1991] Weiser, M. "The Computer for the 21st Century". En: *Scientific American Special Issue on Communications, Computers, and Networks* (1991).