

El libro azul
Apuntes de ingeniería y diseño

Santiago Correa vélez

Sobre El Libro AZUL

En 1903, sale al mercado un libro de portada azul, con el título de "**Blue Book** of American Shipping: Marine and Naval Directory of the United States" editado en Cleveland, Ohio por la Marine Review Publishing Co. Es un libro que recoge la navegación en los Grandes Lagos y todo lo relacionado con esta asociación y su historia.

En 1918, en Estados Unidos, un vendedor de autos llamado Les Kelley parqueó tres automóviles Ford Model T en un parqueadero. Para promover sus ventas hizo un pequeño folleto azul con las imágenes de los vehículos y los precios y lo distribuyó en muchas partes y se conoció como el **Blue Book**® values.

El libro azul reúne textos que recogen los antecedentes, la historia y la tradición de una empresa o institución o proyecto y se convierte en una especie de guía, de manual y de orientación para futuras generaciones.....



El Libro Azul,
Apuntes de Ingeniería y diseño.
ISBN: 978-958-720-056-0
Universidad EAFIT
Rector: Juan Luis Mejía Arango
Editor: Santiago Correa Vélez
Ilustración portadilla: Jose Augusto Ocampo
Diseño gráfico: María Luisa Eslava
Medellín-Colombia-Suramérica
2009

COLABORADORES

Juan Diego Ramos Betancur

Diseñador Industrial. Universidad Pontificia Bolivariana.
MSc en Ciencias de la Administración. Universidad EAFIT.
Jefe de Departamento y Docente Departamento de Ingeniería de Diseño de Producto.
Universidad EAFIT.

Marcela Velásquez Montoya

Ingeniera de Diseño de Producto. Universidad EAFIT.
MSc Strategic Product Design. TUDelft. Holanda.
Jefe de Carrera y Docente Departamento de Ingeniería de Diseño de Producto.
Universidad EAFIT.

Luis Fernando Sierra Zuluaga

Diseñador Industrial. Universidad Pontificia Bolivariana.
Docente Departamento de Ingeniería de Diseño de Producto.
Universidad EAFIT.

Alejandra Velásquez Posada

Diseñadora Industrial. Universidad Pontificia Bolivariana.
Especialista en Diseño Estratégico e Innovación. Universidad Pontificia Bolivariana.
Docente Departamento de Ingeniería de Diseño de Producto.
Universidad EAFIT.

Nicolás Peñaloza Hoyos

Ingeniero de Diseño de Producto. Universidad EAFIT.
Docente Departamento de Ingeniería de Diseño de Producto.
Universidad EAFIT.

José Fernando Martínez Cadavid

Ingeniero Mecánico. Universidad EAFIT.
MSc en Ingeniería Mecánica. Universidad de los Andes.
MBA en Gerencia de Proyectos. Universidad EAFIT.
Docente Departamento de Ingeniería de Diseño de Producto.
Universidad EAFIT.

María Cristina Hernández Monzalve

Diseñadora Industrial. Universidad Pontificia Bolivariana.
MA Design Strategy and innovation. Brunell University. UK.
Docente Departamento de Ingeniería de Diseño de Producto.
Universidad EAFIT.

Luis Fernando Patiño Santa

Ingeniero de Producción. Universidad EAFIT.
MSc en Ingeniería con énfasis en materiales. Universidad Pontificia Bolivariana.
Docente Departamento de Ingeniería de Diseño de Producto.
Universidad EAFIT.

Mónica Álvarez Láinez

Ingeniera Química. Universidad Nacional de Colombia
PhD en Física. Universidad de Valladolid, España.
Docente Departamento de Ingeniería de Diseño de Producto.
Universidad EAFIT.

Alejandro Velásquez López

Ingeniero Mecánico. Universidad EAFIT.
MSc Mechatronics. University of Applied Sciences.
Ravensburg-Weingarten. Alemania.
Docente Departamento de Ingeniería de Diseño de Producto.
Universidad EAFIT.

Juan Felipe Isaza Saldarriaga

Ingeniero Mecánico. Universidad EAFIT.
MSc en Ingeniería. Universidad EAFIT.
Docente Departamento de Ingeniería de Diseño de Producto.
Universidad EAFIT.

Ricardo Mejía Gutiérrez

Ingeniero de Producción. Universidad EAFIT.
PhD en Ciencias de la Ingeniería con especialidad en Mecánica y Diseño. École Centrale de Nantes.
Docente Departamento de Ingeniería de Diseño de Producto.
Universidad EAFIT.

Gilberto Osorio Gómez

Ingeniero Mecánico. Universidad Nacional de Colombia.
PhD en Ingeniería de Sistemas Mecánicos. Politecnico di Milano.
Docente Departamento de Ingeniería de Diseño de Producto.
Universidad EAFIT.

Santiago Correa Vélez

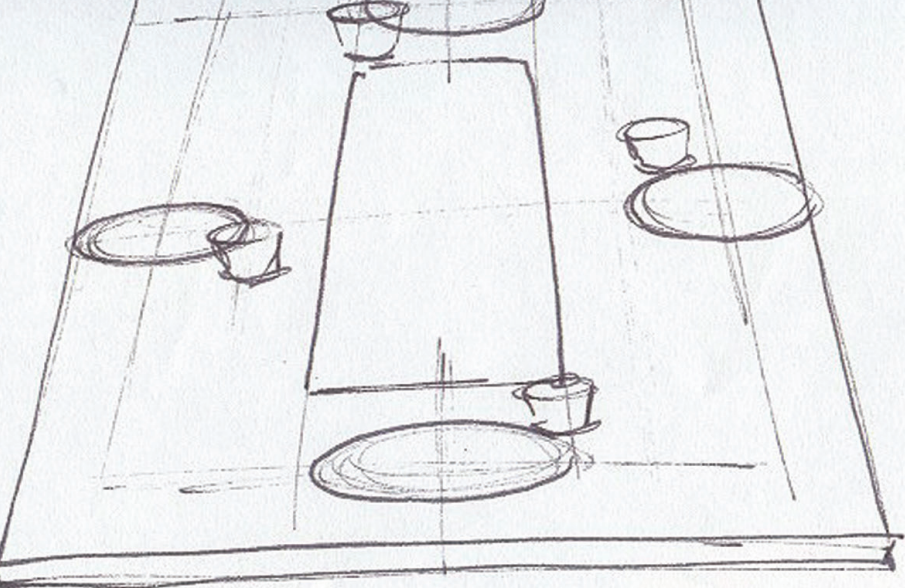
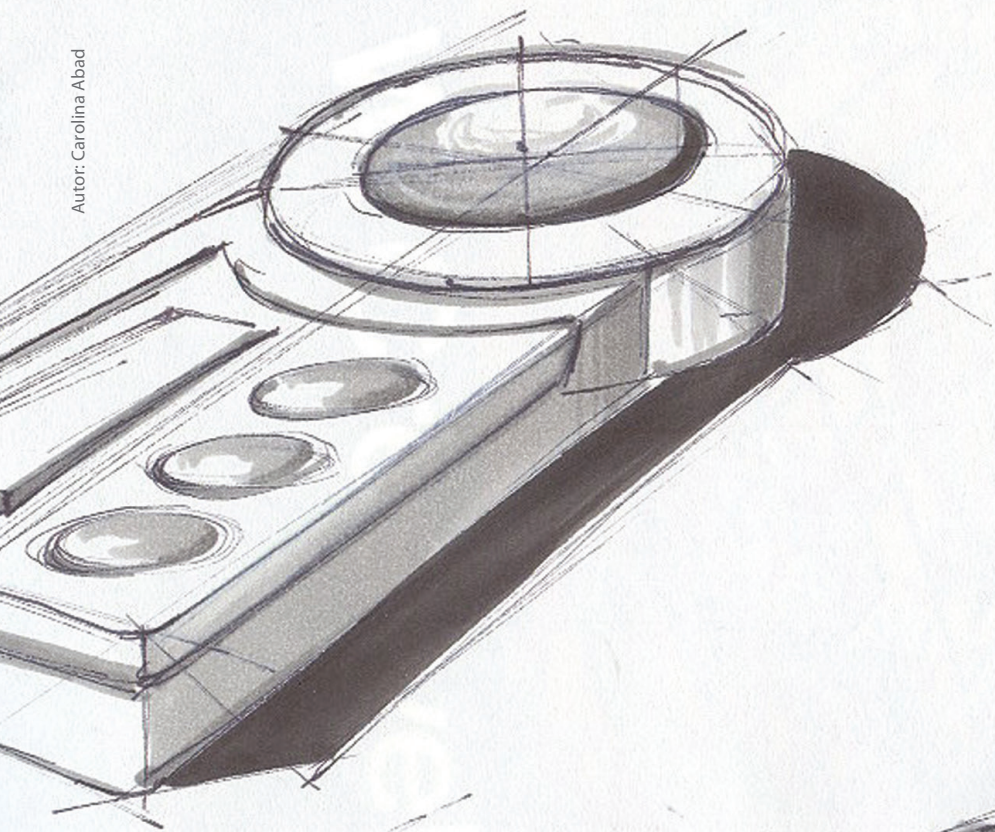
Ingeniero Mecánico. Universidad EAFIT.
PhD en Ingeniería Mecánica y Fabricación.
Universidad Politécnica de Madrid, España.
Docente Departamento de Ingeniería de Diseño de Producto.
Universidad EAFIT.

El libro azul
Apuntes de ingeniería y diseño



Santiago Correa vélez

Autor: Carolina Abad



CONTENIDO

PRESENTACIÓN	11
EL APRENDIZAJE en ingeniería de diseño de producto	15
EL DIBUJO: herramienta fundamental en los procesos de diseño en ingeniería	31
EL ALFABETO VISUAL como herramienta creativa para visualizar el producto	45
DISEÑO, la percepción de la belleza	55
LENGUAJE HUMANO y ARTEFACTO TÉCNICO similitudes y coincidencias	71
ANÁLISIS FUNCIONAL de productos	79
GERENCIA DE DISEÑO	97
PDS- ESPECIFICACIONES DE DISEÑO DE PRODUCTOS: evaluación de elementos, su importancia y aplicación en el diseño y desarrollo de productos.	109
SELECCIÓN DE MATERIALES en el diseño e ingeniería	137
ESPUMAS POLIMÉRICAS, un ejemplo en diseño de materiales	155
DISEÑO INTERACTIVO	163
INGENIERÍA INVERSA aplicada al diseño de productos biomecánicos	189
MODELOS y MEJORES PRÁCTICAS para el diseño globalizado	245
DISEÑANDO más allá de la función - diseño para X	263
INVESTIGACIÓN	275
TEORÍAS DE LA EVOLUCIÓN que contribuyen a explicar los sistemas nombre - artefacto - ambiente	279
REFLEXIONES sobre la arqueología industrial en Antioquia	287
PROYECTO DE GRADO	305
DESARROLLO DE UN NUEVO CONCEPTO DE PRODUCTO para el sector agroindustrial y/o transporte en la empresa IGUANA DESIGN.	309
GESTIÓN PARA LA DEFINICIÓN y PUESTA EN MARCHA de una empresa prestadora de servicios de diseño	347
SISTEMA DE COCCIÓN y CALEFACCIÓN para hogares ubicados en zonas aisladas sin conexión a la red eléctrica	369

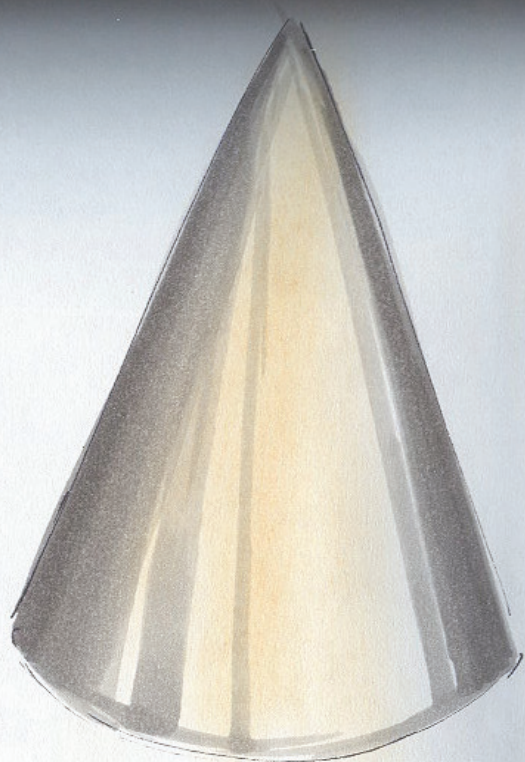
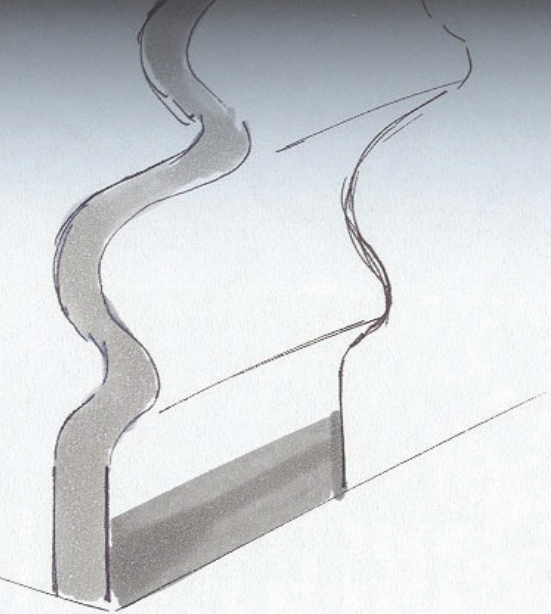
→ PRESENTACIÓN

Este libro recoge la experiencia académica e investigativa de varios docentes del departamento de Ingeniería de Diseño de Producto de la Universidad, durante los primeros diez años de existencia de la carrera. En este sentido, el libro no pretende duplicar contenidos y conocimientos que pueden adquirirse mediante la consulta de otros textos académicos. Se pretende traer, al mismo, la experiencia docente e investigativa, la generación de nuevo conocimiento y los aportes al estado de la técnica que han recogido los docentes en su vida académica y profesional. De su lectura, los estudiantes de pregrado y posgrado podrán obtener conocimientos de base que les permitan orientarse en determinadas áreas, en aras de fortalecer su proceso educativo o su ejercicio profesional.

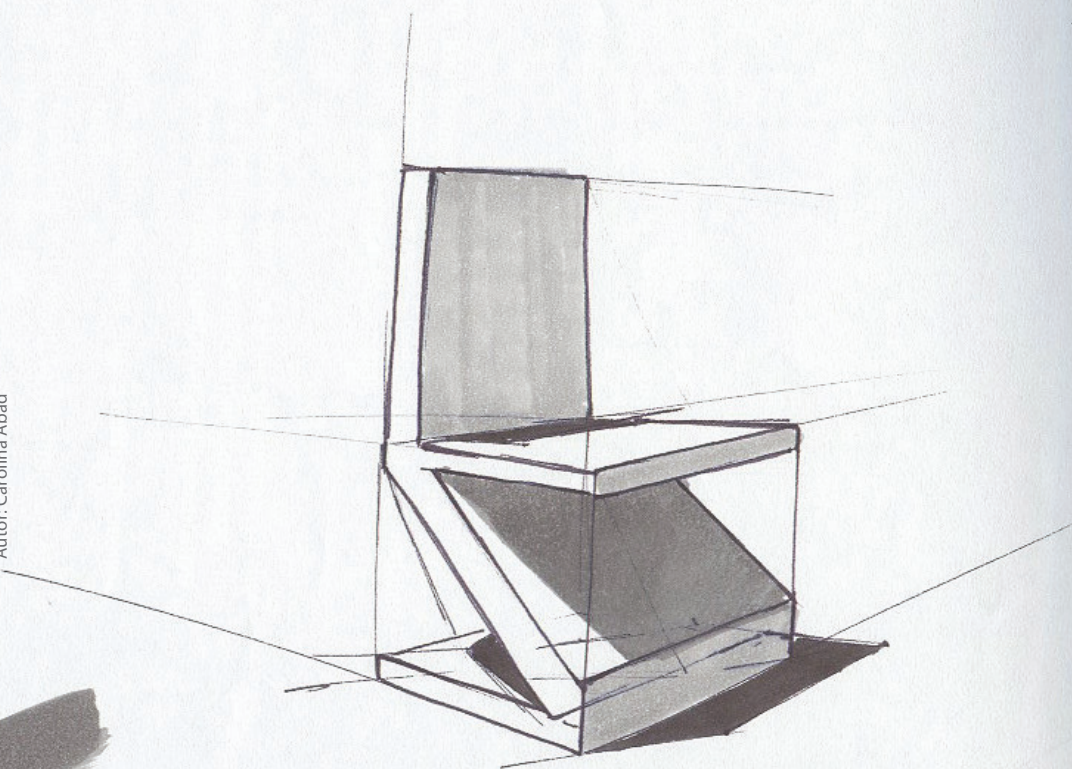
De otro lado, se presentan algunos de los mejores proyectos de grado elaborados por los estudiantes de Ingeniería de Diseño de Producto, y que se consideran como tales por la adecuada aplicación de las metodologías de diseño, la rigurosidad de la ingeniería aplicada, la calidad del modelo o prototipo final y la funcionalidad del mismo. Estos proyectos sirven como ejemplo de las competencias alcanzadas por los estudiantes al final de su proceso educativo de pregrado, y muestran finalmente qué son y de qué son capaces los Ingenieros de Diseño de Producto.

El editor quiere agradecer el apoyo decidido de los Jefes de Departamento y de Carrera de Ingeniería de Diseño de Producto, MSc. Juan Diego Ramos B. y MSc. Marcela Velásquez M., y del Decano de la Escuela de Ingeniería de la Universidad EAFIT, Dr. Alberto Rodríguez G.; también a la Licenciada Clemencia Mora por su revisión de estilo exhaustiva. Por último, a los docentes colaboradores, un agradecimiento sincero ya que sin su aporte este libro no hubiese visto la luz.

Santiago Correa Vélez
Editor



Autor: Carolina Abad



Carolina Abad
2007

EL APRENDIZAJE

en ingeniería de diseño de producto

Juan Diego Ramos Betancur.

Let me be in by explaining the title of my lecture: "S" does not equal "T", and "T" does not equal "I". As a student of physics, I often prefer to conceptualize a problem in the style of a formula. Here, the symbol "S" stands for Science - basic science - "T" means Technology; "I", Innovation. So to translate my title into Layman's terms it would be: "Science alone is not Technology" and "Technology alone is not Innovation". I should like to start with the former.

Akio Morita, fundador de SONY.

Enseñar y aprender son experiencias complejas. Enseñar ha sido una actividad observable y fácil de constatar. Exotérica. Usted observa a un individuo hablando ante un grupo, explicando junto a un tablero o unas diapositivas, moviendo los brazos, señalando a algunos de los asistentes, etc. A eso llamamos "enseñar".

Aprender es un proceso más discreto. Esotérico. Menos tangible. El estudiante mira, diríamos que escucha, escribe, a veces atónito, repite las lecciones, pregunta y esporádicamente, él mismo dirige su proceso de aprendizaje.

Enseñar y aprender no son realmente actividades tan triviales como las explico acá. Es un asunto vital en las sociedades humanas, como una forma de perpetuar los conocimientos y promover la adquisición de nuevos. Y en ello, surgen experiencias sofisticadas de transmisión o asimilación de conocimientos, más allá de las finalidades de la lógica gramatical o del simplemente "lenguajear", gesticular, graficar, etc. Los gestos y posturas, la interacción visceral y las



Autor: Juan Diego Ramos

emociones, los ambientes, los dramas de la comunicación presencial o no presencial, emergen como complementos cruciales del enseñar y aprender. No son actividades siempre premeditadas, y que logran su finalidad porque dos sujetos lo acuerden y lo logren per se. Es una condición experimental que siempre sucede en toda relación humana. Lo que se puede asimilar como enseñar y aprender será en unas ocasiones más explícito que en otras para cada individuo. A veces se enseña o se aprenden cosas fundamentales, sin que hayan mediado intereses específicos de dos individuos en tal experiencia.

El aprendizaje es, como afirma Piaget, información y vivencias que se convierten en *asimilación y acomodación* cognitiva y visceral (García, 2005). Hablamos del conocimiento como un proceso de adquisición de información, y de adecuación de la misma dentro de una estructura conceptual coherente y significativa para un aprendiz. Una estructura con sentido para él y para otros. De hecho, el docente aprende enseñando significativamente, debido a esa retroalimentación activa que mantiene con el estudiante o aprendiz.

El aprendizaje está propuesto hacia la que podríamos llamar la fase de entrenamiento y puesta a prueba de la información adquirida, lo que podríamos denominar "acción". Esta validación del conocimiento se funda en el propio yo, en verificar la pertinencia de ese saber en uno mismo y en la relación con otros. Se busca así, habitar el desarrollo de habilidades, talentos y destrezas, y la constitución de competencias para una autogestión de la vida individual y en comunidad. Es en esta fase, donde podríamos hablar de creatividad, porque una vez adquirido un conocimiento podríamos pasar a la fase de vivir en el cuerpo las acciones del saber, y experimentar el conocimiento como una vivencia personal y social proponiendo nuevas ideas y actos, porque la idea y el acto son parte de una misma situación. Aprender es descubrir cómo uno se hace sujeto que sabe y conoce, y cómo el conocimiento y su búsqueda me transforman.

El aprendizaje por proyectos, como el que se lleva a cabo en Ingeniería de Diseño de Producto, pone en escena todo lo que puede suceder en las relaciones humanas y en la construcción cultural del conocimiento. Transforma a todos los individuos que participan, los confronta, introduce variables éticas, emocionales, de poder político,

social y económico, involucra disciplina, atención, negociación, recursividad, tolerancia, en fin, todo lo humano.

El curso de proyecto es orientado por los docentes pero es, de cierta forma, "propiedad" del estudiante. El dueño es él. No del docente, pues no tiene que rendirle cuentas, sino más bien, contar con él, confiar en él, sentirse apoyado. No es fácil modificar ciertos roles aprendidos por los estudiantes en el bachillerato tradicional, donde el curso "es" del docente.

Los estudiantes deben entender que la motivación para adquirir conocimientos no es impuesta. Es una oportunidad para descifrar el saber y lo hacen con un docente que emociona, que provoca seguir, que da ejemplo con su curiosidad, su dedicación y su orientación. El docente, con cada individuo, debe construir su propio marco de lo que se tiene que comprender y qué competencias va a adquirir. Un conocimiento previo erróneo nos llevará a un aprendizaje equivocado. Hay que deconstruir un aprendizaje previo erróneo por un conocimiento correcto.



Autor: Juan Diego Ramos

El profesor centrado en la enseñanza tiene su preocupación en transmitir el conocimiento, y con ello, el estudiante obtiene una información superficial y una comprensión limitada. El profesor centrado en el aprendizaje tiene su preocupación en ayudarlo al estudiante a relacionar, construir, organizar y presentar el conocimiento. Así, el conocimiento no es el que el profesor le "pasa" al estudiante, sino el que el estudiante es capaz de relacionar, construir, organizar y presentar, con los conocimientos e intereses que tiene.

El propio estudiante determina la profundidad del conocimiento que puede y desea obtener. No es cuestión de métodos de enseñanza, sino de principios fundamentales de aprendizaje.

En general, y a pesar de que están cambiando rápidamente las cosas, hay docentes que están tan centrados en enseñar que les cuesta dedicar su tiempo a averiguar acerca de los métodos de estudio de sus alumnos, qué datos o conceptos se les quedan en la memoria y

en la comprensión, cuánto tiempo le dedican a leer, a estudiar, qué les interesa saber de un tema. Sólo así un docente puede aprender a motivarlos, a ayudarlos y a dejar de controlar los que sólo a él (el docente) le interesa. ¿Cuánto tiempo les dura el conocimiento adquirido en una sesión de clase? ¿Qué es un concepto clave del curso y qué redes forma con otros conceptos? ¿Qué técnicas conoce el docente para estimular y explorar nuevos modos de aprender?

En el caso del docente, éste tiene que ayudarlo a encontrar interés en el proyecto, involucrarse como si fuese un experto más del equipo, motivar con su sabiduría, su experiencia, apoyar la gestión y el desarrollo de la idea de otro. El docente posiblemente sepa o crea saber algunas respuestas, pero no las da enteras, pues hay un propósito también en el descubrimiento por parte del estudiante. Es llegar a un “Eureka” en equipo, a una solución, ojalá inesperada, desconocida, atrevida y novedosa. No una solución que estaba oculta para el estudiante. Que lo sea para todos, porque el proceso de aprendizaje involucra a docentes y estudiantes por igual. Allí hay un compromiso nuevo, diferente, ambicioso.

El proyecto es una investigación hacia lo incierto. Todos deben realizar investigaciones permanentes para atender el desarrollo del proyecto y aportarle las soluciones. Las reuniones para discutir y construir el proyecto deben ser rápidas, directas, ágiles, oportunas y cumplidas en sus pactos por ambos. La comunicación efectiva es crucial y determinante. Una vez reunidos, se toman decisiones claves, pero también se podrán comunicar con los sistemas disponibles (PCs, teléfonos, correos electrónicos, etc.), durante el tiempo en que cada uno se encuentra trabajando en otros aspectos que le fueron encomendados. El proyecto exige delegar y compartir determinadas funciones y responsabilidades. Asumirlas, no evadirlas. Buscar las capacidades y talentos propios de cada participante, a la vez demandar que se involucren en otras tareas, en las que posiblemente son débiles algunos de ellos, pero que, por las condiciones de entrenamiento para el futuro, es necesario enfrentar y asumir.

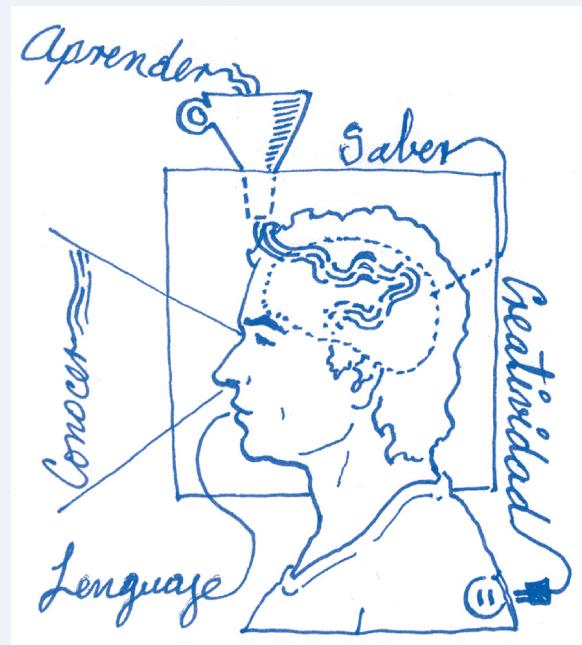
A veces, no es posible medir los conocimientos previos de los estudiantes, evaluar sus capacidades o cuantificarlas adecuadamente, pues algunas florecen en el camino. Los conocimientos se adquieren y los talentos se desarrollan. Lo mismo sucede con el docente.

Desde un enfoque cognitivo, hay que dejar claro que existen problemas bien definidos y mal definidos. El primero significa que sabemos la situación inicial y la final. Con qué contamos, y hacia dónde debemos llegar, pero desconocemos los procedimientos y procesos para hacerlo. El segundo, exige una condición más abierta por parte de las personas. Hay apenas indicios de las condiciones iniciales, fragmentadas e incompletas. Y la situación meta relativizada, una nebulosa que exige lo mejor de nuestra creatividad. En el proyecto, ambas situaciones se dan y deben quedar muy claras entre los participantes (docentes y estudiantes) antes de iniciar.

La integración de conocimientos

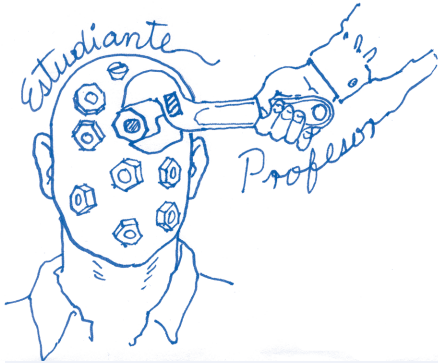
Hay relaciones humanas profundas y otras triviales. A menudo, el proyecto puede convertirse en una de las dos. En la primera, docente y aprendiz, se convierten en un solo equipo que debe separarse por cuestiones circunstanciales, pero permanece en ellos la unión, un sentido solidario de trabajo, un motivo de encuentro ocasional pero intenso, amigable y afín en muchos aspectos para lograr un nuevo resultado. En la segunda, se establecen relaciones banales y por conveniencia inútiles. El docente dirige y el aprendiz obedece. Una vez termina el trabajo, cada quien deja de existir para el otro. No se dejan abiertas las posibilidades de contar siempre el uno con el otro. Cada quien se va por su lado en todos los sentidos y lo que sucede, sucede para el ideal abstracto de la educación y no para el mundo real del aprendizaje.

Hay que buscar que sea la primera la que logre construir entre ambos un nuevo sentido de la vida. Así, hay un resultado cultural de mayor trascendencia, superior a los egoísmos y frivolidades individuales, que busca una visión de comunidad, donde el uno siempre deja los canales abiertos para el otro. Nunca hay olvido ni abandono del logro, a pesar de las distancias y las obligaciones particulares.



Autor: Juan Diego Ramos

Cómo hacer un trabajo de integración en la mente del estudiante



El proyecto es un espacio para traer al contexto del proceso de diseño los conocimientos y la información obtenida en otros cursos previos o paralelos. El proyecto plantea una situación que requiere conocimientos nuevos, que arrastra los que ya se tienen en otras áreas, de métodos y metodologías que se aplican en el proceso de diseño, de manejo de herramientas y equipos para obtener la materialización de la idea; asimismo se estructuran competencias lingüísticas, de representación, de trabajo individual y en equipo, entre muchas otras cosas.

Autor: Juan Diego Ramos

Hay múltiples herramientas para hacer construcciones de conceptos que ayuden a integrar diversos y variados conocimientos: mapas conceptuales, mapas mentales, análisis morfológicos, diagramas jerárquicos de aprendizaje conceptual, etc. No es una construcción a priori. El proyecto es una construcción en el proceso. Hay modelos de proyectos en los cuales ya se sabe a dónde se va a llegar y a qué tipo de solución. Pero cuando se buscan soluciones innovadoras, las finalidades, los medios y otros factores son más difusos. Es allí donde hay que pensar, buscar, indagar y todo ello toma más tiempo. Y esto, el tiempo, es un aspecto de la mayor atención, porque la mente puede producir ideas y soluciones extraordinariamente rápido, o tomar semanas y meses incubándolas, porque le faltan datos, experiencias, analogías, etc. Y el tiempo es un factor que debe mirarse en relación con el tiempo que le dedicamos a explorar la meta.

El uso del lenguaje escrito, el gráfico, el oral y el tridimensional, es el primer paso para definir las posibles estructuras organizadoras de la información previa, de la que se va obteniendo y de la que se requerirá en el futuro.

Cómo atender los factores emocionales en juego

El proyecto plantea situaciones críticas en aspectos emocionales. El cumplimiento del logro, la ambigüedad, la incertidumbre, la

planeación, el debate y la discusión por llegar a un acuerdo, por trazar unas acciones, es parte del juego cotidiano.

No siempre es posible o deseable que las emociones se contengan. Dejarlas salir es sano y conveniente, siempre y cuando se mantenga un propósito de seguir en el equipo, de no dejar de lado el trabajo y el compromiso, a pesar de aparentes diferencias. Mantener el argumento en lugar de las personas, separar entre quien “lo dice” y “lo que dice”. Ello requiere refinar los componentes de la propia personalidad, y el sistema de valores individuales y colectivos. El diálogo abierto y sincero, los intereses por encima de la mesa, las metas comunes y muchos otros aspectos deben dejarse claros al asumir el reto del proyecto, para evitar circunstancias que lamentar.

Cómo motivar y mantener el espíritu investigativo

El docente y algunos miembros del equipo logran ser claves a la hora de articular la energía del trabajo. Motivar con entusiasmo a los jóvenes y los demás docentes es parte clave. Mantener una visión optimista de que el problema o reto a resolver se va a solucionar satisfactoriamente, ya es un ejercicio clarificador. Asumir posturas que favorezcan el diálogo, la interacción constructiva, sin perder de vista los objetivos del proyecto, hace que se garantice la efectividad de los resultados.

El ser humano aprende en buena medida por el ejemplo. Tenemos que observar y ver con detenimiento cómo es, cómo funciona, quién hace qué, etc. antes de poder hacerlo. Eso es parte de saber enseñar y poder aprender. Si damos ejemplo, de manera natural, no por aparentar interés, de que aprender es bueno, es importante y conveniente, podemos alentar a muchos a realizar una indagación, a generar preguntas, deseos de buscar, de hallar sentidos, de comprender y de resolver problemas o conflictos adecuadamente.

Apoyar con el acceso a obtener apoyo y recursos

El docente es pieza clave en abrir puertas y desatorar situaciones del proyecto. El estudiante debe al tiempo, tener iniciativa y vencer la timidez para interactuar, ordenar sus prioridades y buscar los recursos que necesita para llegar al resultado final.

Evaluación del aprendizaje

Retroalimentación sumativa

valoración → calificación → pasa o no pasa.

Retroalimentación formativa

diálogo → argumentación → validación → retroalimentación → autoevaluación por competencias.

Modo pedagógico: dejar de enseñar para apoyar al estudiante a aprender.

Modo práctico: reducir tiempos de evaluación y autoevaluación— retroalimentación—. (La evaluación es informar a los estudiantes qué conceptos, métodos o procedimientos deben ser revisados para mejorarlos, dándole libertad para que proponga algo mejor o diferente a lo planteado por el profesor. No hay una única fórmula para aprender.)

Modo formal: Validez de la evaluación (no puede ser a juicio del profesor, porque le parece. Debe ser una evaluación objetiva, es decir, contra hechos concretos y más universales que subjetivos).

Objetividad, porque deben ser criterios que se puedan juzgar, compartidos por la comunidad académica. **Confiable**, o sea que sea muy específica y que se pueda replicar. **Diferenciada**, donde se puedan describir niveles diferentes de aprendizaje, asimilación, correspondencia. **Legalidad**, en cuanto a que permita que las evaluaciones sean instrumentos tangibles de control del proceso de aprender, y sea a la vez una evidencia, un caso de estudio para discrepancias conceptuales.

Plantear y aplicar sistemas de evaluación

¿Qué evaluar? ¿Al estudiante, al proyecto, al proceso metodológico? ¿A ambos? ¿Cómo? ¿Bajo qué escala o modelo, qué criterios tenemos, qué validación hemos hecho? A propósito de la propuesta de Howard Garner sobre las inteligencias múltiples, dice María Inés Solar, de la Universidad de Concepción, Chile, que “las instituciones educativas, con reformas actuales que enfatizan un currículo centrado en el estudiante, tendrían que ser consecuentes y serias en la evaluación de

las capacidades y tendencias individuales, intentando comprender las diferentes habilidades e intereses de los estudiantes, utilizando diversas modalidades evaluativas e instrumentos más imparciales o neutros respecto de las inteligencias" (Solar, 2006).

Es importante aclarar qué aspectos se van a evaluar desde el inicio del proyecto y cómo ponderarlos. Veamos algunos puntos críticos: el proyecto es, por su naturaleza, una actividad creativa. Y en general, la actitud de las personas hacia la evaluación del proceso creativo es ambigua. Saturnino de la Torre, de la Universidad de Barcelona, España, expone algunas ideas así, (de la Torre, 2006):

Argumentos en contra

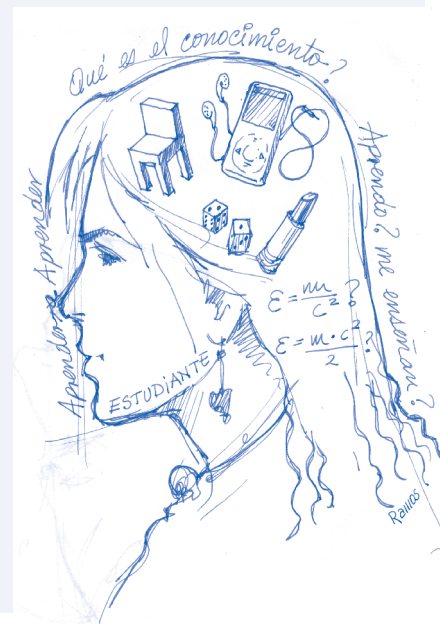
- Lo creativo no puede ser evaluado objetivamente.
- No puede medirse ni evaluarse aquello que es personal e intranferible por naturaleza.
- El proceso creativo es por saltos. No hay patrones únicos y comunes.
- La literatura es escasa.
- Es imprevisible e indeterminada.
- ¿Cómo es posible medir la energía mental y emocional?

Argumentos a favor

- Lo que puede formularse como objetivo, ha de poderse evaluar.
- Evaluar y medir son conceptos distintos. El hecho de que no pueda medirse no significa que no pueda evaluarse.
- Si hay teorías y conceptos abstractos que pueden evaluarse, ¿por qué no el proceso creativo del diseño?
- Test y pruebas de Torrance, Guilford, etc. prueban que es posible evaluar la actividad creativa.

Queda entonces, por definir y desarrollar un sistema de evaluación para todas las actividades en las que se desarrollan proyectos dentro del programa de Ingeniería de Diseño de

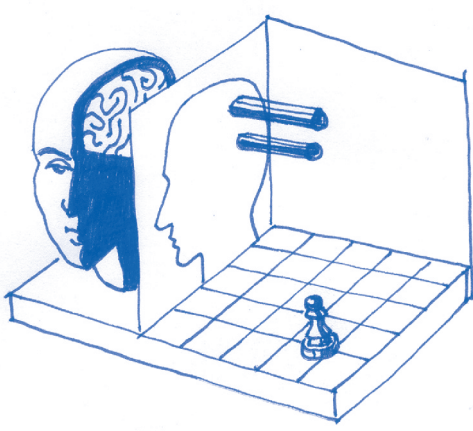
Autor: Juan Diego Ramos



Producto, a partir de los que ya tienen los diferentes docentes en los últimos diez años del pregrado.

Hacer evidente las debilidades y fortalezas del proyecto

Los proyectos son actividades humanas que tienen puntos fuertes y débiles. Es necesario que el estudiante no se sienta juzgado cuando los compañeros o el docente hacen valoraciones sobre el trabajo avanzado del proyecto. Es frecuente que se sienta amenazado por las críticas y los comentarios, y eso, si no lo maneja adecuadamente, tergiversa el sentido de las discusiones y no permite ampliar el sentido de un consenso constructivo. Existe una tendencia natural a que el individuo busque que todo se le ajuste y sea el centro de las finalidades y los beneficios del proyecto. Hay que acompañar a muchas personas a que su yo trascienda un poco más, y logre ver un sentido de lo colectivo como lugar del proyecto personal.



Ingeniería de Diseño de Producto

La Ingeniería es la profesión que busca formar y desarrollar habilidades en las personas, basada en estudios de las matemáticas, las ciencias naturales y las ciencias de la ingeniería, para enfrentar problemas abiertos, complejos, mal definidos o difíciles de identificar, y darles solución por medio de conocimientos aplicados en variados dispositivos

tecnológicos. Esto significa que un problema puede tener múltiples soluciones posibles.

El diseño ha sido el componente creador de las soluciones de ingeniería durante la historia humana. El vocablo “diseñar” viene del italiano, *disegno*, que significa, literalmente, *dibujo*, y que lo trajo del latín, *designo*, “indicar, marcar, trazar, dibujar, diseñar”. Pero esta idea o acepción de la palabra *dibujo*, no corresponde a la multiplicidad de ideas que interpretamos en la actualidad. No es dibujar para pintar, es dibujar para construir. En el Renacimiento, la expresión *disegno* significaba “dibujar para construir”, como finalidad específica. Esto nos lleva a pensar que diseñar es dibujar para crear y también designar

Autor: Juan Diego Ramos

gráficamente algo que se va a hacer. Sin embargo, la palabra diseño abarca muchas más cosas, como sucede en otros idiomas. Es así que la referencia inicial al diseño es el dibujo. Pero por experiencia, es sabido que cuando se habla de diseñar nos estamos refiriendo a una actividad más intelectual y profunda, que va más allá de la pura representación gráfica, como por ejemplo, la pintura. Diseñar implica crear un objeto que responda a distintas variables, que van desde lo estético hasta lo práctico, pasando por lo económico y lo funcional.

El ingeniero debe estar en capacidad de estimar los resultados, de manipular la incertidumbre, diseñar soluciones creativas, originales e innovadoras, y tener argumentos para mostrar las metas a alcanzar y verificar el logro de tales resultados. El ingeniero debe aplicar sus conocimientos de matemáticas, ciencias de la ingeniería y otras ciencias en la resolución de un problema cuya solución es un dispositivo tecnológico, y debe hacerlo, por encima de los conocimientos que posea en cada uno de estos campos. Saber matemáticas o física no implica la capacidad de resolver problemas en ingeniería.

Debe también relacionar los conocimientos que posee para resolver una tarea. Debe seguir los procedimientos (métodos) de su campo para aplicarlos, saber juzgar y seleccionar, entre varias, la solución adecuada.

La ingeniería es la profesión creadora por excelencia, más que el arte o cualquier otra. Es creadora para la supervivencia de la especie. Identifica situaciones problemáticas para un individuo o una comunidad, formula marcos de solución y desarrolla los aparatos. Se funda en el proceso de diseño de componentes, partes o sistemas, en la experimentación y desarrollo de materiales y procesos de manufactura, enfocada en analizar e interpretar datos. Trabaja en equipos interdisciplinarios.

Desde el punto de vista social, está comprometida con el desarrollo tecnológico en el marco económico y político. Domina todas las dimensiones comunicativas para lograr la efectividad de sus proyectos. Aprende permanentemente y está conociendo los temas contemporáneos que inciden en su entorno. Tiene la habilidad de utilizar técnicas, destrezas y herramientas modernas de la ingeniería para la práctica de ésta.



Autor: Juan Diego Ramos

Un ingeniero debe desarrollar, especialmente, habilidades de pensamiento de nivel superior: describir, afirmar, recordar, reconocer, identificar, localizar, organizar, definir, interpretar, predecir, demostrar, resolver, revisar, proyectar, codificar, validar, observar, clasificar, inventar, visualizar, combinar, adaptar, discutir, examinar, entre otros.

En ingeniería es necesario:

1. **Analizar** para decidir, para definir.
2. **Reducir** el problema y seleccionar las especificaciones.
3. **Modelar** soluciones posibles, calcular y estimar los resultados o efectos.
4. **Diseñar** soluciones óptimas.
5. **Evaluar** la calidad, las limitaciones, los riesgos, el impacto, etc. predecir.
6. **Aplicar** regulaciones, normas.

¿Qué debe suceder entonces en el espacio de aprendizaje?

- Una cosa es identificar y nombrar las competencias de un aprendiz, y otra muy distinta ayudar a desarrollarlas.
- Crear un ambiente de aprendizaje, no de enseñanza.
- Los actores involucrados son: el docente (facilitador), el estudiante (aprendiz), el tema, el tópico o los contenidos claves (conocimiento), y la institución con su infraestructura de apoyo.
- Cada asignatura debe ayudar a formar una competencia, pero, ocasionalmente, hay asignaturas que no lo pueden hacer sino en relación con otras. Así, un grupo de asignaturas, encadenadas en paralelo o en serie, permiten formar la competencia completa. Los cursos enfocados a formación por competencias deben tener cuatro ciclos: conceptualizar
experimental → aplicar → reflexionar.

El papel de un nuevo docente orientado al aprendizaje

El docente debe usar palabras operacionales u objetivas para evaluar el trabajo del estudiante. Es decir, acciones observables. Un docente no puede suponer si el estudiante aprende o no por la actitud del mismo. Debe juzgar sólo por lo que el estudiante hace, construye, dibuja, calcula, etc. Las acciones visibles, pueden poner en evidencia las no visibles.

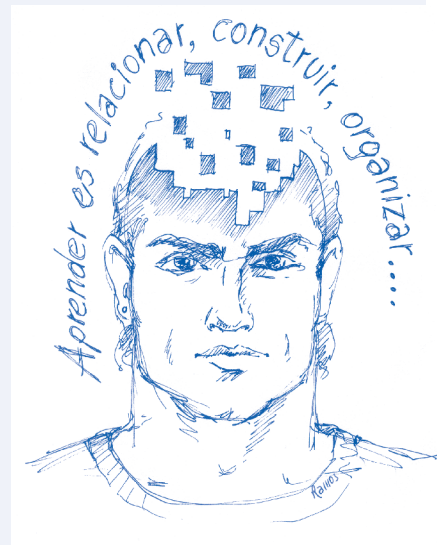
Hay que entrenar a los estudiantes en problemas reales, situaciones cotidianas en el contexto.

Pasar del discurso a los hechos y las acciones.

1. De la teoría a la práctica.
2. De lo mental a lo físico.
3. Del conocer al comprender.
4. Del pensar al proceder.
5. Del informar al relacionar.
6. De los problemas a las soluciones.

Para motivar al estudiante deben darse:

1. Problemas reales.
2. Conectar lo que saben con lo que queremos que aprendan (dar instrucciones apropiadas), no suponer que los estudiantes deducen por sí mismos.
3. Enfocarnos en lo que ellos deben aprender y por qué. Centrarlo en los aspectos primordiales del currículo.
4. Generar actividades para que entre ellos realicen proyectos y favorezcan su aprendizaje.
5. Darles el tiempo que necesiten. No convertir el tiempo en un mecanismo de presión o chantaje.
6. Tener claros los modos de pensar de cada estudiante.
7. El profesor no es un juez, es un facilitador.



Autor: Juan Diego Ramos

8. Dar retroalimentación para ayudar al estudiante a autoevaluarse.
9. Dar evaluaciones y notas bajo el modelo de "Justo a tiempo".

Todo curso debe tener:

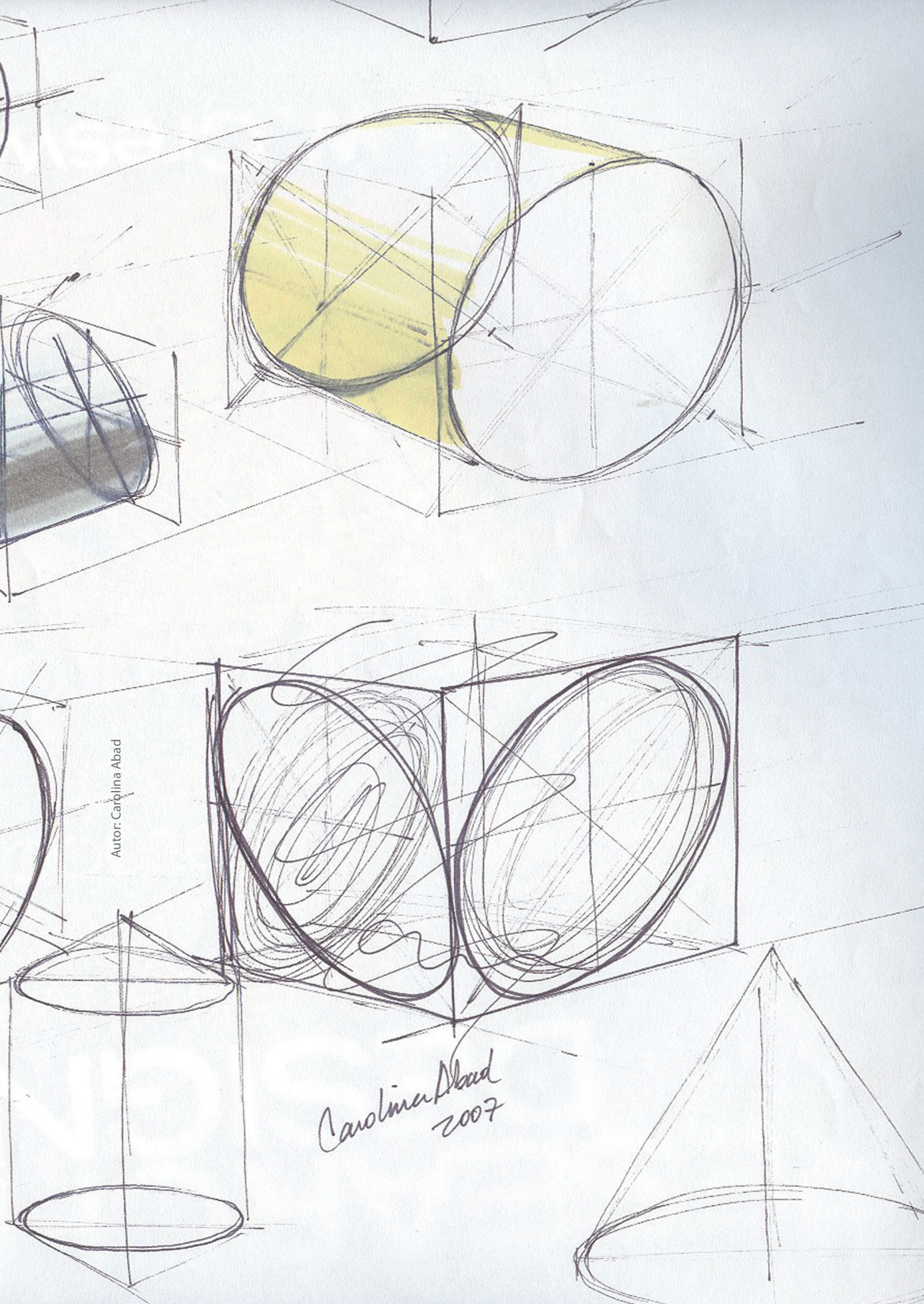
1. Conceptos claves y redes de relaciones entre ellos.
2. Principios que fundamentan el tema.
3. Modelos (matemáticos, formales, conceptuales, lingüísticos, etc.).
4. Métodos y procedimientos.
5. Técnicas (talleres y laboratorios).
6. Teorías.

Bibliografía

De la Torre, S., "Creatividad en la educación", *Comprender y evaluar la creatividad*, compilación de Saturnino Torres y Verónica Violant, Málaga, vol. 1, Aljibe, 2006.

García González, E., *Piaget: la formación de la inteligencia*, Madrid, Trillas-Eduforma, 2005, 128 p.

Solar Rodríguez, M., "Creatividad en las capacidades múltiples (H. Garner)", *Comprender y evaluar la creatividad*, compilación de Saturnino Torres y Verónica Violant, Málaga, vol 1, Aljibe, 2006.



Autor: Carolina Abad

Carolina Abad
2007

○ El Dibujo: herramienta fundamental en los procesos de diseño en ingeniería

Luis Fernando Sierra Zuluaga

Cuando se habla de la importancia del dibujo y la comunicación gráfica en los procesos creativos de diseño en ingeniería, para nadie es un secreto el rol fundamental que éstos cumplen para llevar a cabo a feliz término cada uno de los proyectos; sin embargo es difícil imaginar que todavía existan estudiantes de ingeniería (y aún ingenieros), que aún no sean conscientes de la necesidad de interiorizar y asumir el papel del dibujo en alguna o todas sus representaciones, como parte de su quehacer profesional.

Para ello sería muy conveniente aclarar en primer término el papel que juega el ingeniero en la sociedad y más concretamente en el sector productivo; por lo tanto podríamos definir que el ingeniero es aquella persona que mediante sus conocimientos y habilidades (haciendo uso de su "ingenio"), es capaz de dar respuesta a problemas mediante soluciones técnicas que sean concretas, factibles y eficientes. Por lo tanto necesita ser una persona creativa y a la vez metódica para llegar a los resultados esperados; ahora bien, en muchas de las ramas de la ingeniería las respuestas a estas necesidades se traducen en elementos materiales y tridimensionales o físicos; tal es el caso de la ingeniería de diseño, la ingeniería mecánica, civil etc., o dicho de otra forma, las soluciones están representadas en objetos, productos, máquinas o estructuras tales como puentes, torres, etc.

Para llegar a estas respuestas el ingeniero a través de su formación adquiere y desarrolla una serie de conocimientos y habilidades propias de su profesión, que le permiten afrontar metodológicamente un proceso proyectual o de "diseño" que le ayudará al final de éste, determinar la solución más óptima a un problema planteado. Por ende el ingeniero debe ser una persona además de creativa, también recursiva y de una habilidad mental suficiente que le permita "visualizar" durante dicho proceso las posibles soluciones a las situaciones planteadas, que en este caso como ya se mencionó, son físicas o tridimensionales.

Ahora bien, de todas las representaciones del lenguaje (oral, escrito o gráfico) que se usan para comunicar y dar a entender las ideas y las soluciones a los proyectos de ingeniería; no hay otra herramienta más poderosa que el lenguaje gráfico o el dibujo, el cual permite hacer representaciones en tres dimensiones, así la superficie de trabajo sea bidimensional, como el papel, o virtual, como la pantalla del computador, a través de los diferentes programas especializados.

De hecho, (Bertoline, 1999) de la universidad de Purdue, en su libro *Dibujo en ingeniería y comunicación gráfica* afirma:

En la Ingeniería, el 92% del proceso creativo y de diseño se basa en las gráficas y el dibujo. El 8 % restante se divide entre las matemáticas y la comunicación escrita y verbal. ¿Por qué?, porque el dibujo y la graficación constituyen el medio "primario" de comunicación en los procesos de diseño. El dibujo y la documentación, junto con el modelado de un proyecto, abarcan más del 50% del tiempo del ingeniero y son sólo actividades visuales y gráficas....

El lenguaje oral o escrito por su parte, aún usándolo en toda su capacidad descriptiva, no es capaz de comunicar una imagen certera de cómo son las cosas del mundo ni de cómo funcionan, ya que para el individuo, éste porta altos niveles de subjetividad, por lo cual se recrean imágenes diferentes entre los pensamientos de varios individuos. En cambio el dibujo permite representar ideas que pueden ser entendidas sin diferir en su comunicación, ya que puede representar objetos inexistentes, irreales, pero que de otra manera no podrían ser entendidos o comunicados cabalmente. Por todo ello el dibujo puede definirse como una especie de "lenguaje universal", ya que es la manera natural que ha utilizado la humanidad desde sus orígenes para dar a entender las imágenes mentales.

El dibujo en sí, es una forma de crear ilusiones ópticas, en una superficie o plano bidimensional, permitiendo recrear gráficamente las tres dimensiones. Con él se sugiere el volumen, los colores, las luces y las sombras. El cerebro del observador le confiere a la representación bidimensional, cualidades similares a su idea del mundo físico y del espacio que le rodea. El dibujo es una actividad que se establece mediante la relación de la mente con la mano. En la mano, siempre se encuentra algún artefacto tecnológico que permite expresarse sobre las diferentes superficies, dibujar sirve para explicarse conceptos

tanto a sí mismo como a los demás, para comprender y ser comprendido, para producir, para fabricar y materializar las ideas. Una mano libre que lleve al papel rápida y efectivamente lo que se está pensando es fundamental para evolucionar las ideas y proyectos con mayor control y claridad profesional.

En la medida que los estudiantes de ingeniería entiendan y dominen el lenguaje del dibujo y la comunicación gráfica, esta tendrá influencia sobre su manera de pensar y en la manera que interpreta y resuelve sus desafíos proyectuales más fácilmente sin importar el idioma. Esto debido a que los seres humanos tienden a pensar utilizando los lenguajes que conocen; y al pensar en el lenguaje de las gráficas y el dibujo, se visualizarán los problemas con mayor claridad; y a su vez harán uso de imágenes para comunicarse y encontrar soluciones más fácilmente, sin importar el idioma o la cultura.

Un poco de historia...

El dibujo es uno de los medios de expresión y comunicación gráfica más antiguo en la historia de la humanidad, inclusive, mucho antes del lenguaje escrito. De hecho, el lenguaje, en muchos casos, usa símbolos derivados de figuras icónicas, como es el caso en las pinturas rupestres, los jeroglíficos egipcios y la escritura cuneiforme.

La comunicación gráfica ha tenido diferentes aportes en cada una de las culturas a través del tiempo. La Grecia de la antigüedad tuvo una gran influencia en el dibujo mediante su trabajo en la geometría; de hecho muchos de los instrumentos que se emplean en el dibujo como las escuadras y el compás fueron desarrollos griegos; así mismo los primeros tipos de representación volumétrica o perspectivas.

Sin embargo desde los tiempos de Cristo hasta la Edad Media, se considera que hubo muy poco desarrollo en el dibujo y la representación gráfica. De hecho antes del renacimiento (1300-1500 d.C.), los artistas, artesanos y arquitectos plasmaban sus ideas directamente sobre el material de trabajo cualquiera que este fuese

Figura 1.
Dibujos de presentación o renders: nevera.



Autor: María Fernanda Suescúm.

(piedra, madera, hierro etc.); para ello se requería además de gran habilidad manual, también de una gran capacidad de visualización mental para llegar al resultado esperado, ya que requería ir modificando la obra durante el proceso de trabajo. Este procedimiento reducía la posibilidad de producir dos o más piezas idénticas ya que sólo el artista era consciente del resultado al que quería llegar (Castillo, 2006).

Fue entonces a partir del Renacimiento con artistas como Da Vinci, Durero, y Brunelleschi entre otros; cuando se descubrieron los principios de la perspectiva, el uso de la simetría, las proyecciones ortogonales, etc., lo que permitió a través del dibujo, plantear obras para comunicarlas a los demás sin que éstas existieran materialmente; o lo que es lo mismo “diseñarlas antes de construirlas”, ya que con ello se permitía una visualización similar a la visión humana; siendo esta la forma evolucionada como se proyecta y comunica en la producción industrial hoy día.

De hecho, cualquiera que pueda interpretar los dibujos hechos hace más de quinientos años, como en el caso de las máquinas de Leonardo Da Vinci, las puede recrear y construir hoy día a cabalidad ya que sus dibujos aún existen.

Posteriormente aparecerían nuevos desarrollos como la geometría descriptiva y los principios del dibujo técnico hacia finales del siglo XVIII por cuenta del matemático y constructor francés Gaspar Monge (1746-1818) y con los cuales sentó las bases para todos los tipos de representaciones tridimensionales empleados en la ingeniería hasta el día de hoy.

Luego vendrían otros adelantos como el dibujo isométrico a principios del siglo XIX desarrollado por el inglés William Farish (1759-1837) y la estandarización de normas para los dibujos técnicos (principios del siglo XX). Por último tenemos durante el siglo XX las gráficas computacionales, a principios de los años sesenta, los sistemas CAD (a partir de 1970); y más recientemente y con los avances de la informática, la aparición de los programas de modelado en 3-D, las simulaciones o animaciones computacionales, y la aplicación de la realidad virtual, siendo todas ellas utilizadas como herramientas de diseño cuyo punto de partida es el dibujo.

El dibujo y el proceso de diseño...

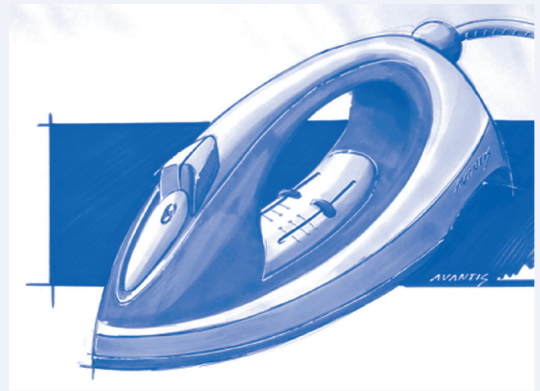
En Ingeniería la creación o el diseño de objetos ya sean productos o máquinas entre otras, requieren de un proceso metodológico que involucra la organización secuencial de diferentes etapas, tanto analíticas como creativas, indispensables para resolver una necesidad o un problema planteado. Es decir que la estructura de pensamiento consta esencialmente de un proceso de análisis, procesamiento y por último de síntesis. Durante ese proceso el ingeniero tiene que pensar en muchas de las posibilidades y características de un objeto que no se pueden comunicar con descripciones verbales, es decir, que estas ideas aparecen en la mente del ingeniero mediante un proceso visual, no verbal. Estas imágenes visuales pueden revisarse y modificarse para probar soluciones diferentes antes de los dibujos técnicos y modelos de ingeniería. Los dibujos por lo tanto se utilizan para documentar y comunicar el proceso de diseño.

El dibujo es válido siempre y cuando pueda comunicar ya sea objetiva o subjetivamente, las formas, los detalles y las características intrínsecas del proyecto acorde con cada una de sus fases de desarrollo hasta llegar a su materialización.

Para ello existen diferentes tipos de dibujos, cuyo grado de precisión o fidelidad dependen de la búsqueda personal del diseñador y de la información requerida en cada una de dichas etapas. Para el caso de la Ingeniería de Diseño de Producto, podemos clasificar los dibujos acordes a esa estructura de pensamiento mencionada más arriba; de la siguiente manera:

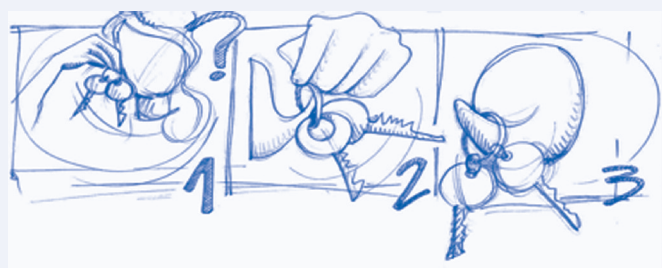
Para hacer procesos de análisis, primero están los “dibujos conceptuales” trabajados en forma de bocetos o sketches, donde lo importante es expresar

Figura 2.
Dibujos de presentación o renders:
propuesta de diseño para electrodoméstico.



Autor: Luis Fernando Sierra Z.

Figura 3.
Dibujo de secuencias operativas:
modo de empleo para portallaves.

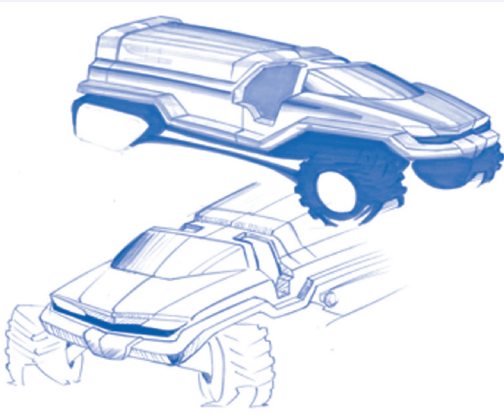


Autor: María Fernanda Suescúm.

de forma rápida y no necesariamente figurativa, ideas y conceptos mediante formas, colores y demás intangibles, o para definir diversos atributos del producto difíciles de percibir a simple vista, y que mediante la inspiración o los referentes proyectuales buscan representar conceptos tales como agilidad, simpleza, sofisticación, fortaleza, lujo etc.

También existen dibujos que más que explorar conceptos, lo que buscan es transmitir posibilidades sobre diversas características formales o funcionales acordes con la naturaleza de los proyectos. A este tipo de bocetos que normalmente se ejecutan en gran cantidad para analizar las posibilidades y alternativas de diseño, se les denomina “dibujos exploratorios”.

Figura 4.
Bocetos rápidos o sketches:
vehículo todoterreno.



Autor: Juan Felipe Pérez.

Cuando se procesa la información obtenida durante la primera fase; y con el fin de lograr una representación más depurada, que permita explicar y dar información de detalles constructivos, tales como ensambles, estructuras, relaciones entre diferentes componentes, tipos de arquitecturas etc., se utilizan los llamados “dibujos explicativos” cuya finalidad consiste en dar entender al observador el funcionamiento del producto de una manera imparcial y neutra que permita evaluar ciertos detalles de ingeniería antes de su aprobación.

Estos dibujos van acompañados de diversas ayudas gráficas como flechas, globos, lupas o ampliaciones y también, tal y como su nombre lo indica, de cortos textos explicativos. También y dentro de este mismo grupo podemos citar las secuencias operativas o “story boards” que muestran de manera secuencial cada uno de los pasos que se deben seguir para hacer un uso adecuado del producto, su ergonomía, el manejo de sus funciones indicativas etc.

Ya en una etapa de síntesis, cuando se definen las ideas y las propuestas proyectuales, las representamos o visualizamos de forma que comuniquen cabalmente las características del producto terminado, dándoles color y expresión. Utilizamos los llamados “renders” o dibujos “persuasivos”, con los cuales no sólo se evidencia la inten-

ción comunicativa del producto mediante su formalización sino también los posibles materiales, texturas y acabados del proyecto.

Los renders por lo tanto deben ser comprensibles para casi cualquier persona, sin importar su formación ni su relación con el medio.

Para lograr una comunicación objetiva y precisa, existe el “dibujo técnico”, el cual mediante el manejo de normas y códigos logra un nivel de interpretación común entre diseñadores, ingenieros y fabricantes ya que es un lenguaje conocido por todos ellos y con el cual se puede llevar a cabo las modelaciones CAD y la construcción o fabricación de modelos funcionales o prototipos tridimensionales (físicos) de los proyectos mediante la representación en planos técnicos.

En la medida en que los estudiantes de ingeniería sean capaces de dominar correctamente el manejo del dibujo sin dejar a un lado los elementos mencionados anteriormente, podrá avanzar fluidamente en todo el proceso proyectual sin tropiezos ni ambigüedades, lo que permitirá visualizar rápidamente cada una de las etapas del proceso metodológico del diseño de productos.

La mejor manera de aprender a dibujar es...dibujando

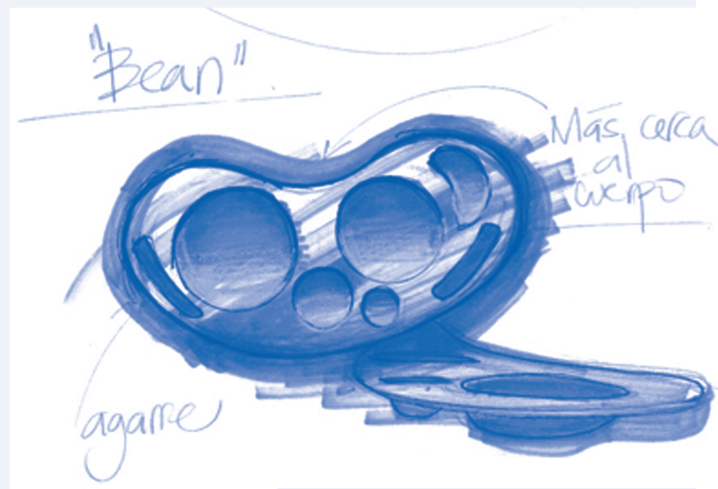
Toda destreza o habilidad se desarrolla y perfecciona a través de la práctica; ya que es la única forma de lograr interiorizar y aprender una técnica. Para los estudiantes de dibujo esto es de suma importancia y por ello se recomienda trabajar diariamente hasta lograr el dominio deseado, de la misma manera que un estudiante de guitarra realiza

Figura 5.
Dibujos exploratorios:
propuestas de diseño para bolígrafos



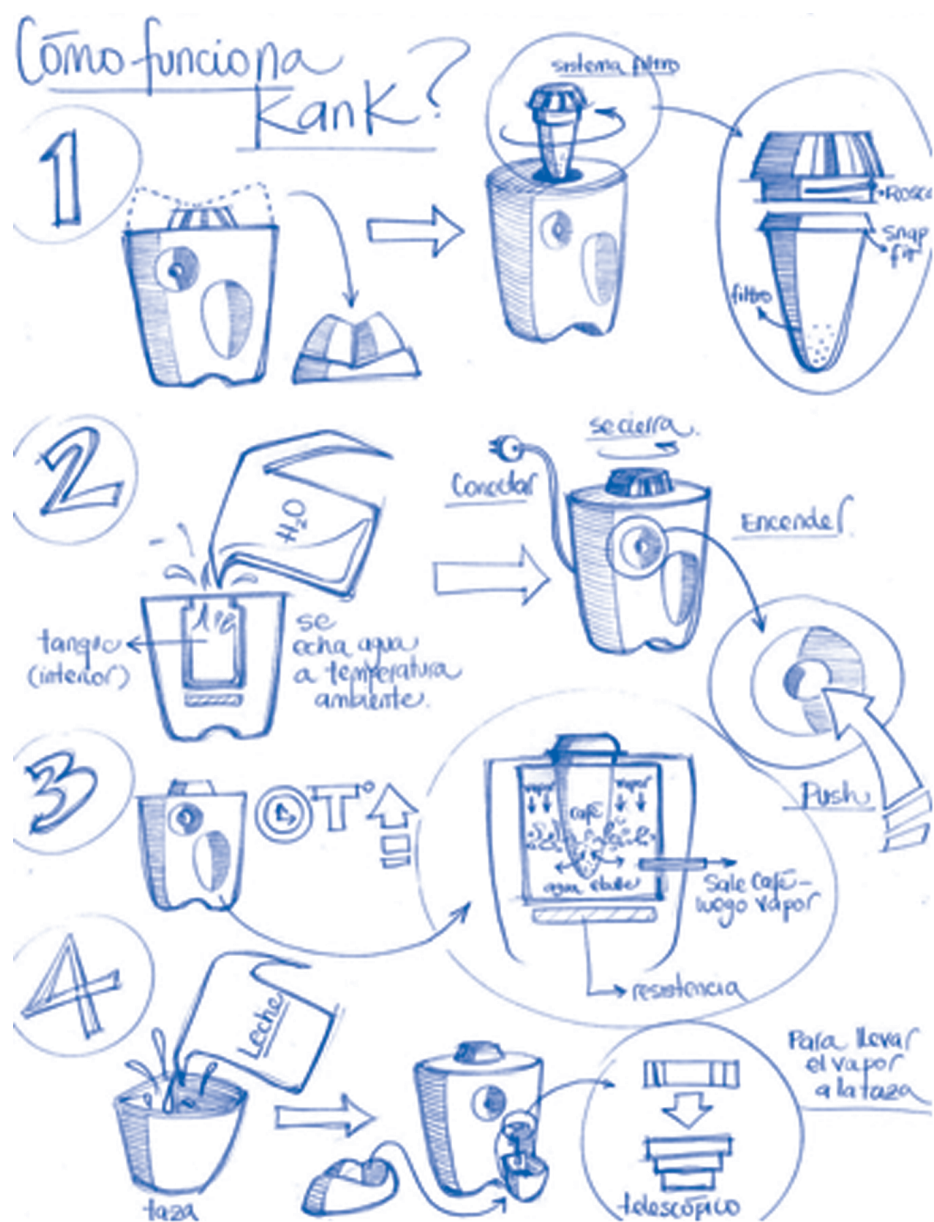
Autor: Juan Felipe Pérez.

Figura 6.
Dibujos descriptivos:
características de bandeja plástica.



Autor: María Fernanda Suescúm.

Figura 7.
Dibujos Explicativos: Cómo funciona un producto.



continuamente ejercicios para leer la música y dominar el instrumento. Por lo tanto, resulta engañoso pensar que ciertas habilidades se tienen sólo por que se nace con ellas, si esto fuera así no hubiese sido posible que aprendiéramos tales cosas que damos por hechas, como hablar o mucho menos escribir; sin embargo son actividades que realizamos cotidianamente sin tener que pensar en cómo hacerlo. Ahora bien ¿Por qué se nos dificulta tanto dibujar?

Desde que somos niños y aprendemos a escribir se nos exige hacer uso de la escritura como una forma esencial del lenguaje para comunicarnos, pero si analizamos el acto de escribir, lo que realmente estamos haciendo es dibujando cada una de las letras para con ellas formar una palabra, una oración etc.; cuando aprendemos como formarlas las desarrollamos y aplicamos durante toda la vida como parte de nuestras habilidades. El dibujo por su parte no es una habilidad a la cual se le exige el mismo grado de desarrollo y exigencia dentro de nuestra educación, por consiguiente cuando terminamos dicho proceso educativo no tenemos suficientemente desarrollada dicha habilidad para comunicar nuestras ideas de manera visual. Es por ello que la mayoría de las personas adultas dibuja a un nivel similar a como lo hace un niño de 6 o 7 años (cuando ninguno de nosotros apenas sí sabía leer o escribir de igual manera). De manera que sí se nos exigiera hacer uso del dibujo y el pensamiento visual desde nuestros primeros años de formación, todos tendríamos un nivel aceptable para dibujar y expresarnos gráficamente.

¿Qué debo hacer para aprender a dibujar?

Aparte de la práctica continua lo primero es asumir el acto de aprender a dibujar con *pasión* es decir, tomarlo con determinación y disfrute personal, de la misma manera cuando queremos aprender a conducir un vehículo o aprender una segunda lengua. Para ello gran parte se logra mediante la aplicación de aspectos importantes como el autoaprendizaje, la observación y la atención a los detalles.

Figura 8.
Dibujos de presentación o renders:
máquina quitamotas.



Autor: Juan Carlos Agudelo Velilla.

Con el primero se hace uso de los recursos para elaborar y construir conocimiento basado en la experiencia y en el estudio o la práctica, es decir, no todo se encuentra en los libros o se copia y dibuja sólo en el salón de clase. Al dibujar tal como lo ven los ojos, se desarrolla la habilidad de imaginar y manipular imágenes, que es la base fundamental del pensamiento creativo en diseño.

Con la observación, logramos entender el mundo que nos rodea, ya que es una fuente inagotable de ideas y analogías para representar mediante formas y colores lo que estamos dibujando. Posteriormente esto nos ayudará a resolver creativamente los problemas a los que se enfrenta el ingeniero de diseño de productos.

Cuando dibujamos debemos ser capaces de identificar todos los detalles por insignificantes que sean y que componen todo aquello que estamos representando a través del dibujo, de esta manera entenderemos mejor la complejidad de los productos tanto desde el aspecto formal como funcional y dimensional.

Una buena manera de lograr todo lo anterior es dibujando desde los intereses personales, desde los motivos emocionales (¿qué me gusta dibujar?), desde la intuición y la experimentación, de esta forma el dibujar se convertirá en una expresión de sí mismo, lo que ayudará a crear un estilo y una técnica propias.

El futuro

El advenimiento y desarrollo de la informática (especialmente los software de representación gráfica) ha tenido un impacto muy importante sobre la forma como se diseñan, visualizan y se fabrican los productos (sistemas CAD-CAM-CAE). Pero la mayoría de estos programas sólo son útiles y económicos en la medida que los proyectos estén prácticamente definidos formal y visualmente por parte del diseñador; razón por la cual resulta engañoso pretender llegar al resultado final del diseño mediante el uso de programas de modelación computacional antes de definir las formas y características en el papel; ya que a pesar de ofrecer estos (software) “posibilidades ilimitadas” para diseñar, estas se pueden ver limitadas por las capacidades y el tiempo que se tenga para dominarlos, o sea

que el ingeniero sólo podrá proyectar lo que es capaz de modelar, o en el peor de los casos, será el programa quién configure los objetos, volviéndose éste un fin y no un medio o herramienta dentro del proceso de diseño.

Igualmente resulta más rápido en tiempo y menos costoso económicamente, generar diferentes ideas y conceptos en el papel, que modelar virtualmente cada una de las propuestas, o peor aún, aplicar durante el proceso proyectual cambios leves o radicales en el diseño; ya que estos podrían requerir cambiar todo el trabajo de modelación. En este caso, sólo con el dibujo se reducen las posibilidades de hacer cambios radicales ya que el tiempo que consumen las representaciones virtuales o tridimensionales será siempre superior y más complejo. De manera que no se puede creer que sin el computador no es posible llegar a configurar los objetos.

En los últimos tiempos sin embargo se han acuñado términos como C.A.S. (Computer Aided Styling) o “*Computer Sketching*” para referirse a diversos programas utilizados sobre todo en el diseño de vehículos, para visualizar el proceso creativo (ideas y conceptos) a través de dibujos o bocetos virtuales, creados a través del uso de lápices digitales y tabletas digitalizadoras, no obstante y a diferencia de los sistemas CAD-CAM, dichos programas permiten “dibujar”, pintar y borrar rápidamente de la misma manera que lo hacemos en el papel; por lo tanto junto con los programas de edición de imágenes o animación tridimensional, constituyen el verdadero futuro del dibujo como herramienta para el diseño de productos.

Para terminar quisiera citar al diseñador Dick Powell, quién en su libro *Presentation Techniques* anota:

El diseñador que no sepa dibujar será obviamente mucho menos creativo que aquel que sí; y sin esta destreza, muchos diseñadores se verán forzados a diseñar sólo lo que son capaces de dibujar, en vez de dibujar todo aquello que pueden imaginar.

Bibliografía

Bertoline, Gary y Wiebe, Eric, *Dibujo en ingeniería y comunicación gráfica*, México, Editorial McGraw-Hill, 1999, pp. 6 -16.

Castillo, Fernán, "Primero lo primero: el dibujo", *Revista Ojo*, Universidad Jorge Tadeo Lozano, núm. 4, 2006, pp. 100-105.

Powell, Dick, *Presentation Techniques: a guide to drawing and presenting design ideas*, Boston, Little Brown and Company, 1999, 160 p.

Autor: Nicolás Peñaloza

2 veces gordo

debe ser rectángulo ax duno.

2 veces
x 2
+ 7
compar 2



ARRELA DE FRENTE



CABEZA LADO

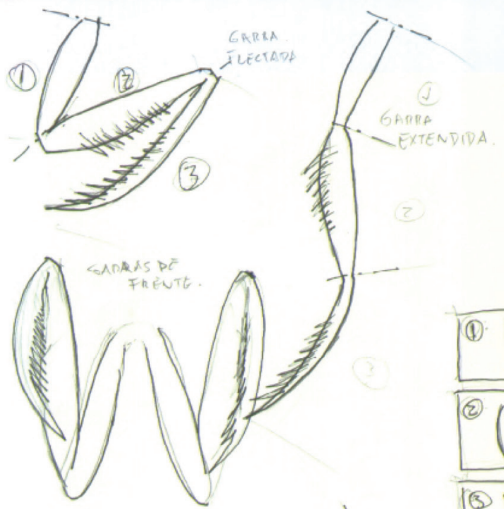


"ALIEN"

CABEZA EN REVOLUCION.



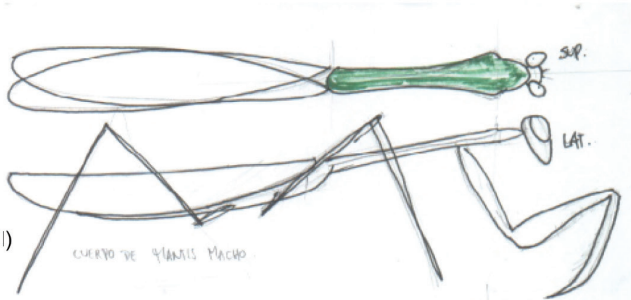
cuadrado y sin ojos SUPERMAN



GARRA FLECTADA

GARRA EXTENDIDA.

GARRAS DE FRENTE.



SP.

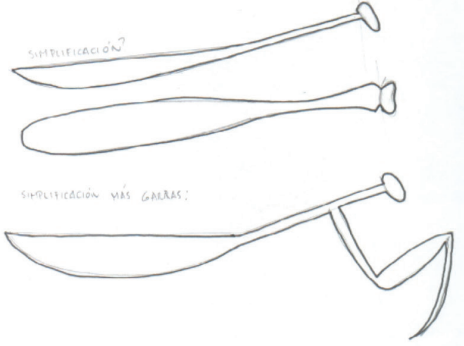
LAT.

CUERPO DE PRIMITIVO MACHO



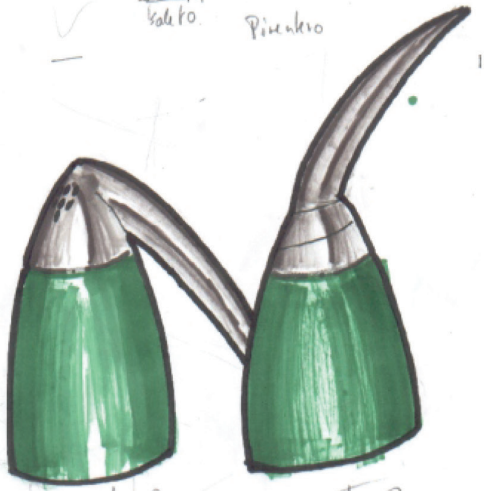
SIMPLIFICACION?

SIMPLIFICACION MAS GARRAS:



Salto

Pienkro



Salto

Pienkro

EL ALFABETO Visual

como herramienta creativa para
visualizar el producto

Alejandra Velásquez Posada

Introducción

En términos generales se puede decir que la forma de un producto se puede establecer a través de la materia o de la geometría (Muller, 2001), así:

- **La materia.** Son formas que puedan ser manufacturadas, explorando las posibilidades y limitaciones de un material y de sus procesos productivos; para luego preguntarse qué función puede cumplir dicha forma.
- **La geometría.** Anticipándose a una forma específica que cumplirá con una función (de acuerdo al uso que tradicionalmente se le da a determinadas formas); para luego preguntarse cómo puede ser manufacturada dicha forma y en cuál material.

Independiente del camino a través del cual se defina la forma de un producto, esa forma tendrá no sólo unas características materiales y tangibles, sino también un significado; por lo tanto es fundamental que el ingeniero de diseño de producto se pregunte por el aspecto semántico (o del significado) del producto que está diseñando para no dejarlo al azar, y que se define en el momento en cual se escoge un concepto para el producto.

Cuando un ingeniero de diseño se ve enfrentado a tomar decisiones respecto a las mejores opciones de forma y arquitectura del producto, puede utilizar varias herramientas creativas, entre ellas hay una denominada "alfabeto visual". El alfabeto visual es un proceso estructurado que implica una recopilación, análisis y dibujo de un elemento concreto y tangible, el cual se escoge como "disculpa" para diseñar e ir definiendo la forma y los componentes, y que luego servirá para marcar las pautas específicamente formales y, en algunos casos, de configuración funcional del producto.

Desde la composición tridimensional del producto, como son las formas orgánicas o geométricas, los volúmenes, los colores y las texturas hasta la imagen corporativa y el uso de tipografías —el nombre y el logotipo—, el alfabeto visual es de gran ayuda porque permite puntualizar sobre el diseño, dándole un marco muy coherente a todo el proyecto (sistemático), y facilitando el proceso convergente o de síntesis que hace parte del diseño y desarrollo de todo producto.

Representación visual a través de la inspiración

Según (Ashby, 2003) inspirar es estimular el pensamiento creativo, y la inspiración puede venir de diversas fuentes: de otros productos, de nuevos materiales, de nuevos procesos de manufactura o de la naturaleza —que quizá es la fuente de inspiración de mayor riqueza—.

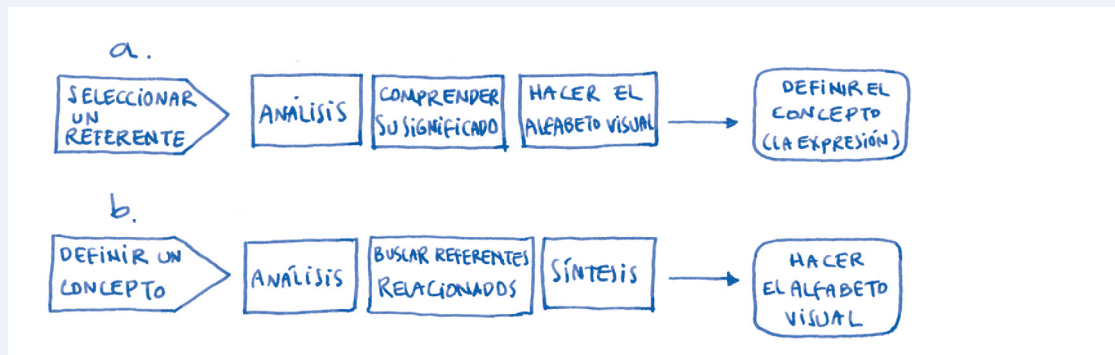
En el caso específico de los ejercicios desarrollados en Ingeniería de Diseño de Producto, a esta fuente de inspiración la llamamos referente formal. Como se mencionó anteriormente, el referente formal es aquel elemento tangible, natural o artificial, que deberá ser coherente con el producto a diseñar. Es decir, que según el producto que se va a desarrollar, el referente se debe seleccionar de tal manera que esté vinculado, para que sea una herramienta efectiva y no se vea como algo forzado. Este referente, como su nombre lo indica, deberá “hacer referencia a” y tener una relación muy directa con lo que se quiere representar, comunicar o expresar en el producto; por ejemplo a nivel de atributos, adjetivos o cualidades, palabras como ligero, dual, extravagante, tranquilo, entre muchas otras, se pueden materializar en las formas de un producto; de ahí la importancia de seleccionar un adecuado referente para comunicar un determinado concepto.

Por ejemplo, si el concepto es ligero, un buen referente formal puede ser la libélula. El juego del ajedrez, en cambio, se podría utilizar para el atributo de dualidad. Si el concepto es extravagante podemos tomar como referente formal el movimiento de arte del Barroco. Y por último, si nuestro concepto es tranquilo, algún elemento de la filosofía de vida Zen sería lo más indicado. En esta etapa es fundamental ser coherente entre lo que se quiere comunicar y el referente con el cual lo vamos a lograr; se trata de dar claridad ante todo.

Según el significado que le damos a los productos, no por el producto en sí sino por los recuerdos que produce, estos recuerdos pueden “disparar” emociones fuertemente duraderas. Aquí es donde el ingeniero de diseño de producto se concentra en la apariencia exterior del mismo, lo que (Norman, 2004) llama “nivel visceral de la emoción”, o también el nivel del instinto, lo que percibimos a través de la apariencia y de las características físicas y formales del producto.

Es posible definir la apariencia, las características y los rasgos físicos del producto a través del alfabeto visual que se elabora a partir de un referente formal. Entonces, existen dos maneras de enfrentarse al ejercicio de diseño (figura 1); a partir del referente o a partir de lo que se quiere comunicar (concepto).

Figura 1.
Formas de abordar el ejercicio de diseño



Autor: María Fernanda Suescúm.

El ingeniero de diseño siempre debe contestarse la pregunta sobre lo que quiere representar, comunicar y expresar con su producto, cuál es el concepto de diseño o la “expresión” del producto, ya que éste será el punto de partida y de llegada que involucrará el análisis de un referente formal.

Para determinar la relación que existe entre el producto y el referente, hay una técnica que consiste en asignarle una lista de asociaciones al referente seleccionado, para comprender las palabras y los significados en concordancia con el producto y así poder establecer si el referente se puede utilizar o no para el proceso de diseño.

La lista de asociaciones con respecto a un referente puede tener varias perspectivas o miradas:

- **La forma:** adjetivos calificativos de las formas del referente.
- **La función:** verbos con las funciones y mecanismos del referente.
- **El significado:** sinónimos y conexiones con algunas partes del referente.
- **Los productos:** otros productos existentes que se relacionan con el referente.

Por lo tanto, no se trata de “acomodar” el referente al producto, o de diseñar cualquier producto con cualquier referente, sino que el referente sirva como el “gatillo” creativo para el proceso de diseño, y que esté en relación directa con el atributo del producto y con el concepto que se pretende comunicar; es el referente el que muestra las conexiones de manera racional y lógica, no intuitivamente. Por ello, es fundamental tener una intención comunicativa muy clara y definida antes de empezar el proyecto.

Componentes del alfabeto visual

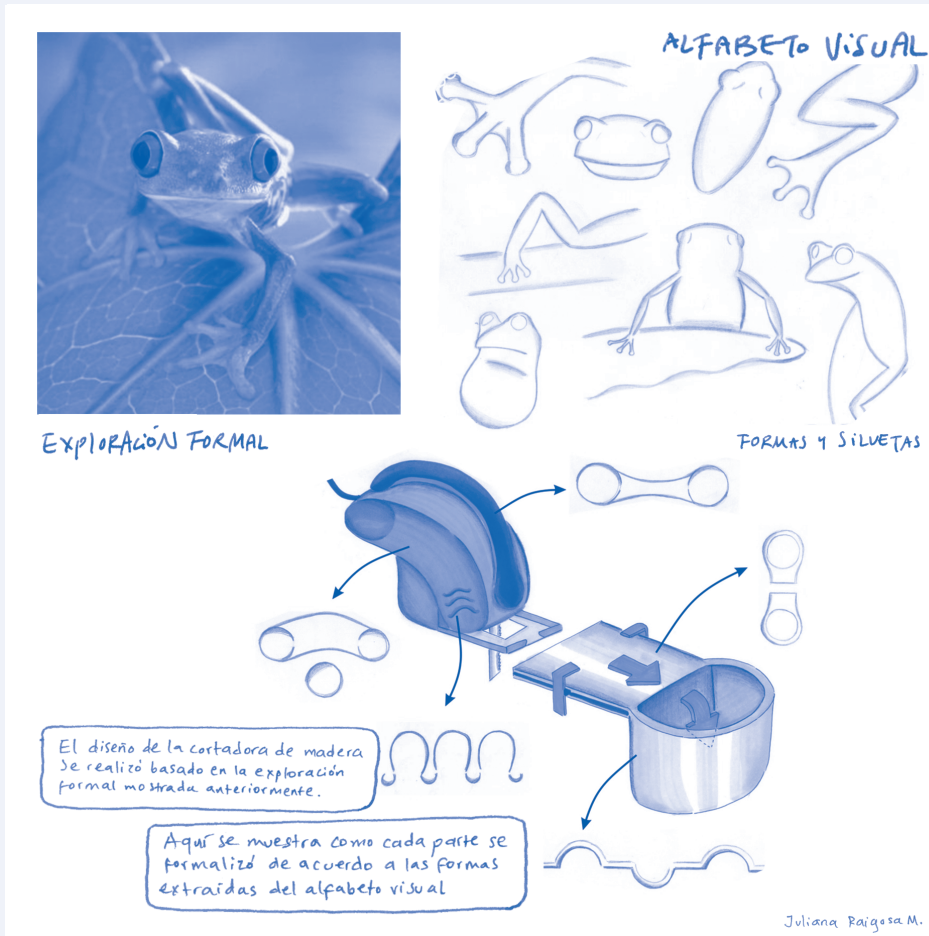
El alfabeto visual como herramienta creativa, está compuesto por elementos en dos y tres dimensiones visuales, gráficos y tangibles que conforman un banco de imágenes o formas de donde se puede extraer información gráfica, tanto formal como funcional, para diseñar un producto; específicamente para formalizar un producto.

Antes de comenzar a elaborar un alfabeto visual es indispensable seleccionar lo que se conoce como el referente formal, ya mencionado anteriormente.

El alfabeto visual, figura 2, está compuesto por:

- **Imágenes:** recopilación de imágenes del referente formal. Son fotos tomadas de cualquier fuente de búsqueda, lo más importante es que sean a color y que haya lupas que muestren algunos detalles.

Figura 2.
El alfabeto visual



Autor: Juliana Raigoza M.

- **Formas:** dibujos de las formas y siluetas más representativas del referente formal. Esto quiere decir que el referente seleccionado se debe dibujar tal cual es. Por medio del dibujo es que nuestro cerebro es capaz de apropiarse de las imágenes y de reconocer sus aspectos más característicos, para luego transmitírselos al producto. Según (Muller, 2001): "El dibujo, a través del sketch, es una extensión de nuestra memoria".
- **Exploración formal:** dibujos con las evoluciones formales, desde deformaciones hasta composiciones con dichas formas. El objetivo de este tercer paso es explorar nuevas formas y obtener

diversas siluetas que se “alejen” de la literalidad del referente que está siendo trabajado.

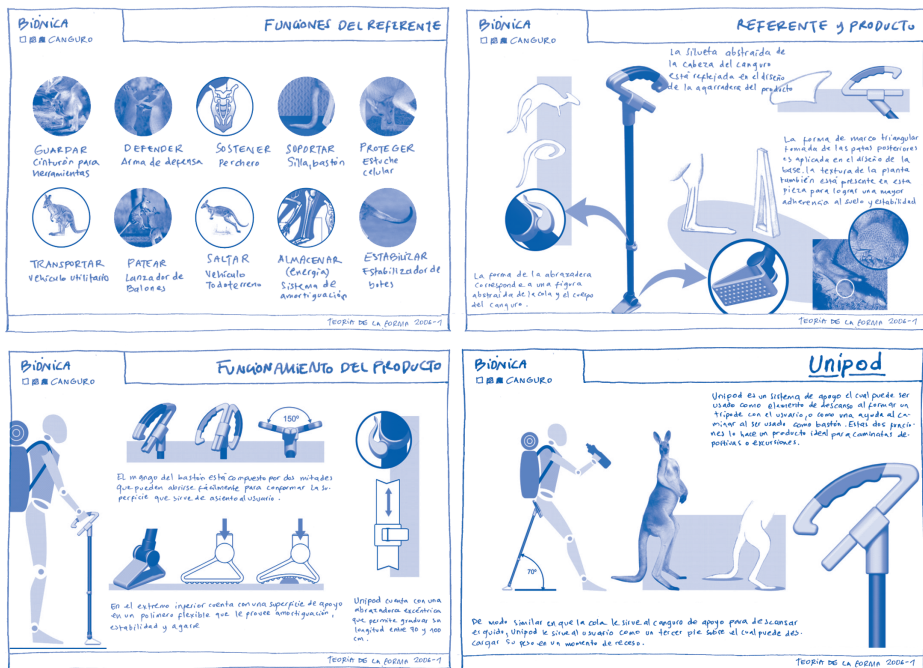
- **Cartas de colores, texturas y materiales de dicho referente:** explicando especialmente el significado de los colores, para luego asociarlos al producto o utilizarlos en su diseño.
- **Mecanismos:** funciones, mecanismos y sistemas operativos del referente formal.

Aplicación y uso del alfabeto visual

Uno de los casos puntuales en los que se puede aplicar el alfabeto visual es en el diseño y desarrollo de un producto a través de la biónica, cuya fuente de inspiración es la naturaleza.

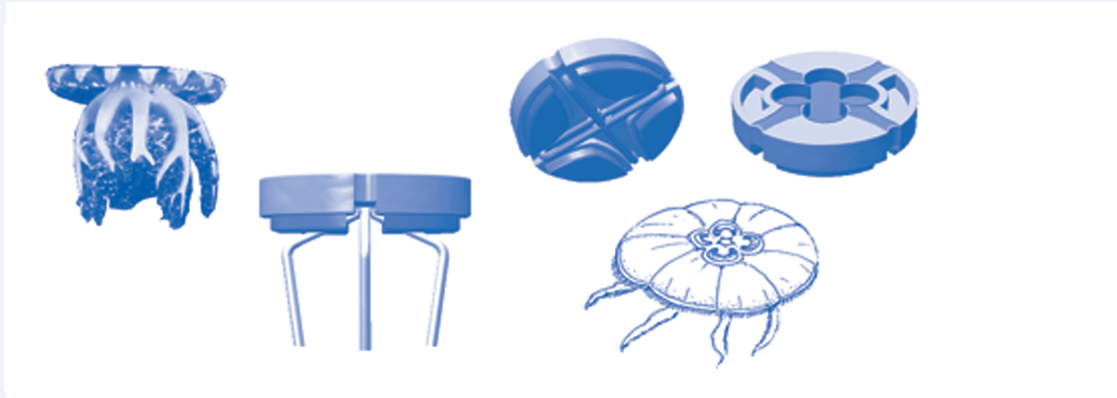
A continuación, se ilustra el diseño de un sistema de apoyo basado en el análisis del canguro desde lo formal y lo funcional. Dicho ejercicio, figura 3, se desarrolló dentro del curso de Teoría de la Forma de la carrera Ingeniería de Diseño de Producto de la Universidad EAFIT.

Figura 3.
Alfabeto visual basado en el análisis de un canguro



Otro ejemplo es el diseño de una mesa-flotador, figura 4, para usar en la piscina.

Figura 4.
Ejercicio de Teoría de la Forma



Autor: Carolina Escobar

Conclusiones

No existe un único método o técnica para formalizar, o sea, para explorar la forma de un producto. Una de las técnicas aplicadas dentro de los cursos de Ingeniería de Diseño de Producto de la Universidad EAFIT se llama el alfabeto visual, que ha demostrado ser de gran utilidad para concretar la apariencia y las características formales y funcionales del producto. Todo ello es posible gracias al trabajo analítico, ordenado, coherente y metódico al que se aplican unas asociaciones estructuradas con fines de solución semántica, formal y funcional, para hallar la solución de un producto.

Para elaborar un alfabeto visual, el principal paso es la selección de un adecuado referente formal, tangible (gráfico o tridimensional), con posibilidades de analizarlo y descomponerlo, para así obtener un amplio abanico creativo con una gran riqueza formal, visual y gráfica.

Si el referente formal seleccionado no es coherente con el producto que se va a diseñar, esta herramienta creativa del alfabeto visual pierde todo su sentido. En la medida en la que el ingeniero de diseño es capaz de buscar aquellos elementos relacionados o vinculados

entre el referente, el concepto y el producto, mayor será la utilidad y aplicabilidad del alfabeto visual; de lo contrario se percibirá como un ejercicio de diseño aleatorio, y no metódico, perdiendo así todo su sentido.

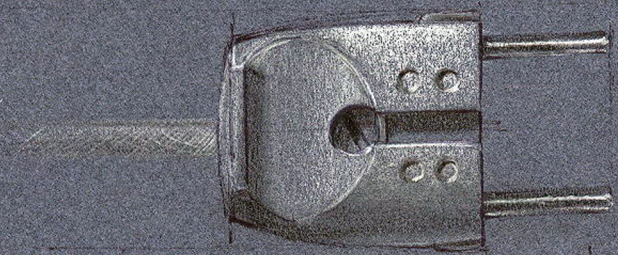
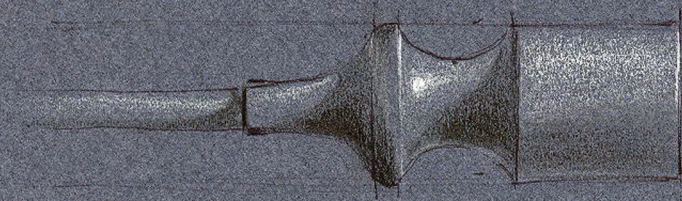
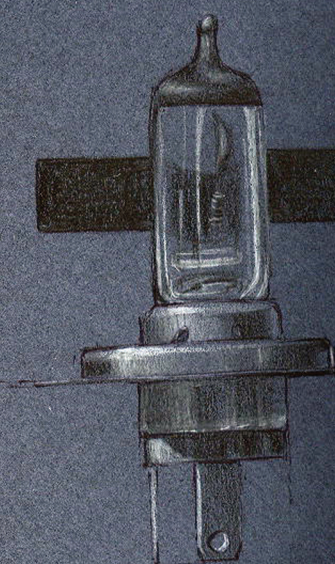
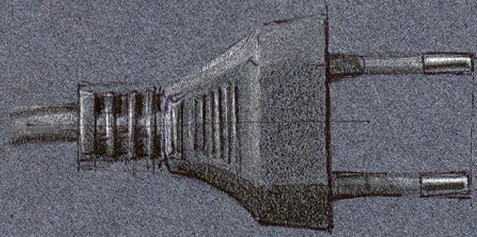
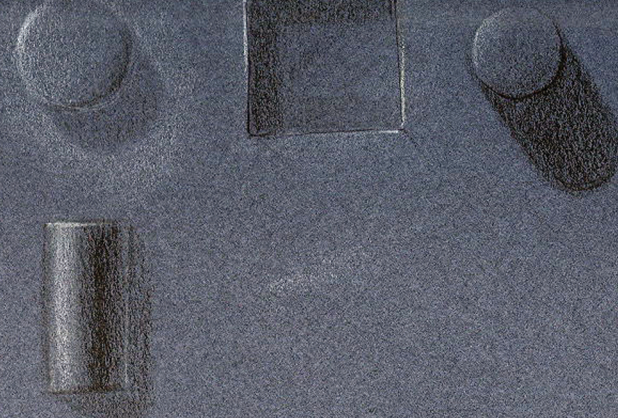
Bibliografía

Ashby, Mike y Johnson, Kara, "Design and designing", en: *Materials and Design*, Nueva York, Butterworth Heinemann Publishers, 2003.

Muller, Wim, "Introduction", en: *Order and Meaning in Design*, Utrecht, Lemma Publishers, 2001.

_____, "The product form", en: *Order and Meaning in Design*, Utrecht, Lemma Publishers, 2001.

Norman, Donald A., "Three levels of design", en: *Emotional Design*, Nueva York, Basic Books, 2004.



Autor: Carolina Abad

*Carolina Abad
2007*

DISEÑO, la percepción de la belleza

Alejandra Velásquez Posada
Juan Diego Ramos Betancur

Introducción

El diseño es un componente que puede entender las experiencias acerca de la atracción o de la belleza. Y no sólo una experiencia estética visual, sino una experiencia integral donde lo funcional, lo simbólico, lo emocional y muchas más categorías, intervienen en la construcción del juicio sobre lo bello.

Primero, es conveniente hacer una pequeña aclaración: la atracción puede estar del lado de lo que es bello para cada individuo o cada comunidad. Es un consenso cultural finalmente el que actúa sobre o dentro de la mente humana y que se relaciona con lo que denominamos lenguaje de producto. Cada cultura define los límites de su concepto de lo que es bello o no, precisamente influidos por las valoraciones que hacemos. Una herramienta común en estos campos son los diferenciales semánticos, que establecen conceptos variados y opuestos respecto a un mismo producto.

Los individuos establecemos una serie de argumentos que crean categorías y jerarquías sobre qué es más relevante entre los atributos estéticos de un artefacto, qué nos afecta en él, qué no y por qué. Bien sea que se hable desde un punto de vista de algo que puede ser bello o no, ya que estas dos concepciones están asociadas desde tiempo atrás con lo que es bueno o lo que es malo. “Lo bello es bueno y lo feo es malo”, era uno de los grandes modelos de pensamiento imperante en la Edad Media.

Vamos a referirnos también a la preocupación del ser humano, en sus muchas culturas, acerca de la búsqueda por la belleza, la perfección, el orden, la justa proporción, tanto en los contextos, como en los productos, y tangencialmente, en las personas.

Según la etimología, bello proviene del latín *bellus*, que viene del antiguo *benus* por *bonus*, y sólo después, por asociación de ideas, pasó al significado de bien proporcionado, agraciado. La belleza,

según un diccionario corriente, es: 1) propiedad de las cosas que nos hace amarlas, infundiendo en nosotros deleite espiritual; 2) mujer notable por su hermosura; 3) armonía física o artística que inspira admiración y placer. Como puede verse, las palabras claves que no escapan a una definición de la belleza son: orden, armonía, placer, hermosura, deleite, mujer, unidad, balance, simetría.

Para quienes desean con un diseño propiciar experiencias de belleza o atracción, hay teorías sobre la composición de las partes y el todo, sobre sistemas de ordenamiento y leyes de simetría que contribuyen a organizar, criterios para el balance perceptual como lo hizo Piet Mondrian, o lo explica (Dondis, 1992) para el diseño gráfico, y específicamente como lo expone (Elam, 2001) en su libro *Geometry of Design*, que muestra las proporciones en la naturaleza, en el cuerpo humano, en la arquitectura, en el diseño gráfico y en los productos, fundamentado en todo el trabajo y los estudios realizados por la antigua Grecia. Elam afirma: “Los principios de toda composición incluyen el entender los sistemas clásicos de proporción como la sección áurea y los rectángulos raíz de cinco, así como también los radios y las proporciones, las interrelaciones entre las formas y las líneas reguladoras de todas composición”. En su texto hace todo un análisis visual que justifica el uso de herramientas geométricas para obtener productos bellos.

La pregunta por la belleza

La belleza es una estructura compleja, vinculada a lo discursivo, que no se puede trivializar sobre lo sensorial exclusivamente; aunque a través de una estructura visual ordenada siempre será posible darle coherencia visual a las formas. La pregunta puede no ser qué es la belleza, sino más bien, cómo es la belleza y qué operadores mueve en los individuos desde el punto de vista emocional o intelectual; ya que la belleza no sólo está en el objeto sino también en el sujeto y son sus experiencias previas, su bagaje cultural y su archivo visual los que le permiten asociar ciertas formas de los productos al concepto de belleza.

Podríamos preguntarnos, y de seguro ya lo hemos hecho en varias ocasiones, ¿por qué hay unos objetos que nos atraen más que otros?

Al menos, que sirva para propiciar un acercamiento, y aprovecharlo para aplicar algunos conceptos o principios.

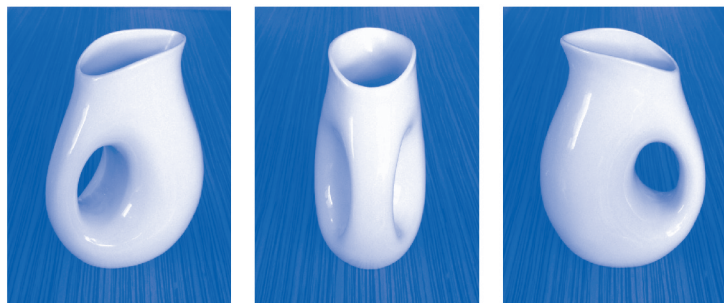
¿Cómo se controla la configuración y diseño de una estructura? Es una pregunta que debe considerarse integralmente como lo ha venido proponiendo Ingeniería de Diseño de Producto desde su creación. Una forma que funciona correctamente y además logra ser bella. Los japoneses tiene un dicho: aquello que funciona bien y es correcto, es bello. Los Shakers, aquel movimiento religioso del siglo dieciocho, también hace referencia a que lo bello se deriva de ser funcional práctico, sin excesos, útil y producido en los materiales correctos y adecuados. Entre los polémicos críticos tenemos al arquitecto Adolf Loos, que con su obra *Ornamento y delito* hace un cuestionamiento a todo exceso decorativo y acoge el funcionalismo como modelo de una estética radical (Loos, 1972). Ya el artista y diseñador italiano (Munari, 2004) hacía la crítica al diseño cuando mencionaba: “Por un grifo de oro sale la misma agua que por un grifo de hierro galvanizado”. Es decir, como ven hay mucho tema entre ambos extremos, pero acá buscamos conciliar los criterios de lo funcional y de lo bello en su justa proporción y creemos que no existe una única medida de las cosas o un único método para explicarlas. Suman tantos requerimientos en un producto actual, que unos pesan más que otros a la hora de responder a todos con los más altos estándares. Donald A. Norman, experto en diseño emocional afirma en el capítulo “Attractive things work better” de su libro *Diseño Emocional* (Norman, 2005) que los productos bellos y atractivos funcionan mejor, ya que el usuario puede tener una lectura más clara sobre la manera como éste se opera y por consiguiente, una mayor aceptación del producto.

La forma de los artefactos con intención funcional y la imagen con intención estética tienen diferentes sistemas de restricciones. Los primeros, permiten una restringida gama de formas dependiendo principalmente de su función y de la flexibilidad para disponer sus componentes en diferentes tipos de organización (Hubka, 1988), lo que conocemos como arquitectura de producto; a diferencia de las imágenes que cumplen funciones ornamentales, y que presentan mayor libertad en cuanto a la exploración simbólico-formal que aquellos que tienen funciones prácticas (Bürdek, 2005). Dichos artefactos han cambiado durante la evolución de la mano y el cerebro humanos, y por supuesto desde el punto de vista

formal y funcional, han pasado de lo simple hasta lo complejo. Puede afirmarse que el repertorio del alfabeto formal y visual que adquirió el hombre primitivo fue simultáneamente traducido por la capacidad de concretar de la mano, en objetos con rasgos abstractos y prefigurativos (Leroi-Gourham, 1971).

En términos de una reflexión sobre la estética de lo bello, surgen preguntas como: ¿Cuáles son las reglas que definen o regulan las formas de un objeto para garantizar su aprecio por parte de usuarios y consumidores? Y una pregunta especialmente importante: ¿Qué efectos tiene en el observador o en el usuario final que las formas de los objetos se ajusten a determinados principios geométricos, al ser controladas y definidas por un diseñador? Hay que agregar también el hecho que los productos, figura 1, no sólo responden a sus formas sino también a los materiales, a las texturas, a las evocaciones emocionales, a los procesos de manufactura, a la filosofía de la empresa, a los lenguajes formales de los productos, etc. Es un complejo mundo de imaginarios sobre el cual ya se han venido desarrollando técnicas y modelos de exploración de preferencias del usuario o consumidor.

Figura 1.
Concepción de producto desde lo formal, lo emocional, los materiales y los procesos de manufactura. Jarra "Tag" para leche, en cerámica.



Autor: Alejandra Velásquez

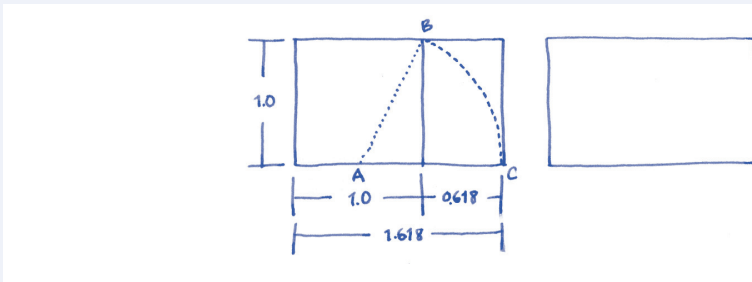
Todo cuerpo natural se caracteriza por un tipo de orden, de organización, y de forma, de combinación atómica que incluye ciertas posibilidades y excluye algunas otras: unas y otras están determinadas, no exactamente para siempre, sino más bien para todo el tiempo que durará la combinación considerada, pero esta

combinación no dura por siempre, muta, se transforma, explota o se desgasta, se intercambia o se mueve.

Lucrecio

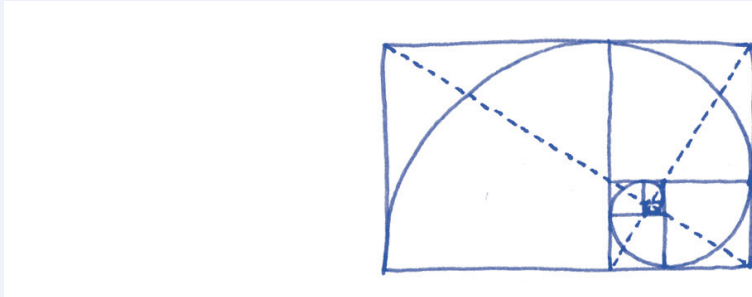
La racionalidad y estética occidental, está basada en muchos modelos, entre ellos, los sistemas geométricos iniciados en Egipto, posteriormente refinados en la Grecia clásica, como por ejemplo la proporción áurea, figura 2, la espiral de oro, figura 3, o los rectángulos raíz de cinco, la secuencia de Fibonacci, entre otros, que permitirán abordar mejor este recorrido.

Figura 2.
Rectángulo áureo



Autor: Alejandra Velásquez

Figura 3.
Espiral a partir del rectángulo áureo



Autor: Alejandra Velásquez

La noción de proporción se conoce como la relación o correspondencia entre las partes y el todo, o la relación de una cosa con otra que puede darse en términos de magnitud, cantidad o grado; teniendo como finalidad la armonía. Y es precisamente la armonía en el diseño de un producto, la cualidad visual que descubrimos a través de nuestro sentido de la vista; por lo tanto todas sus partes se ven bien, no hay nada que desentone y el producto se percibe

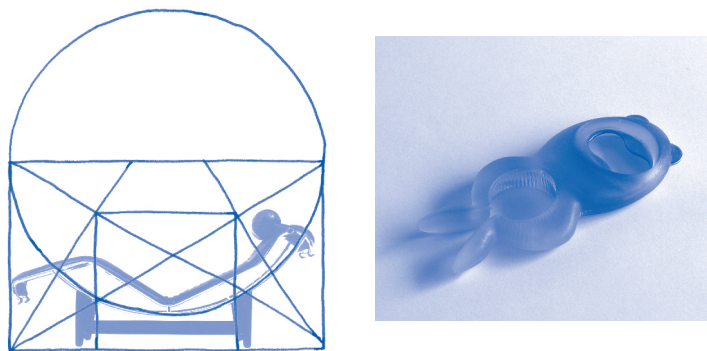
como un conjunto; esto permite generar en nosotros la sensación de belleza y obtener un bienestar espiritual a través de lo que vemos.

Existe una herramienta de diseño que permite controlar la forma de un producto con el fin de obtener una composición proporcionada, llamada geometrización. Ésta le sirve al diseñador para definir los contornos y límites del producto, ajustar la forma, distribuir sus accidentes formales (también conocidos como zonas formales), darle coherencia formal para que haya armonía, estructurar su diseño utilizando elementos con geometrías similares, proporcionarlo, ubicar correctamente sus detalles, así como también para definir la forma de los remates y partes de transición en el producto. Geometrizar, figura 4, no es más que ajustar la forma, y esto nos permite revelar las relaciones visuales y matemáticas que existen entre las partes de un producto.

La teoría de la Gestalt

A principios del siglo XX los alemanes desarrollaron dentro de la psicología el concepto de Gestalt, que además se ha convertido en un importante campo de investigación. La Gestalt o “forma”, opera como un potente circuito que regula lo que vemos. Quizá este mismo concepto de Gestalt, pueda aplicarse a los demás sentidos, porque en el fondo, es una superestructura cognitiva y de diseño

Figura 4.
Ejemplos de geometrización: silla Chaise Lounge (izq.)
destapador para gaseosas “bop” de la empresa Orca (der.)



sensorial, la que modela nuestras reacciones ante el mundo. Esta disciplina que estudia la mente humana y los comportamientos, también ha estado de la mano de la publicidad y el mercadeo profundizando en el conocimiento de los modos de acción y control del comportamiento en los individuos ante los procesos de consumo. Ellos están diseñados para afectar las emociones, los conceptos, los sistemas de valor y las reacciones primarias ante colores, formas y situaciones. Por ello, se denominan hoy, diseñar experiencias, donde todos los aspectos quedan involucrados. Ya no existe el producto aislado. Existe en cuanto a contexto, situación espacio-temporal, biografías del sujeto, estilos de vida, referencias culturales, etc. Estas propuestas, en muchos casos podrán haber perdido validez, y otras aún estarán vigentes.

La teoría de la Gestalt postula que percibimos los objetos como una "totalidad" bien organizada, más que como partes separadas y aisladas. No vemos pequeños fragmentos aislados al abrir nuestros ojos para ver el mundo. Vemos grandes regiones con formas y patrones bien definidos. El "todo" que vemos es algo más estructurado y coherente que un grupo de fragmentos aislados; ya que el cerebro dispone y opera hacia integraciones para comprender mejor. Diríamos, vamos del todo a las partes. La forma es más que la simple unión de los fragmentos –se asume como el principio de la sinergia en la Teoría General de los Sistemas, que postula que el "todo" es mayor que la suma de sus partes y que las partes individualmente no explican la conducta del "todo" o sistema–.

Los tres psicólogos que más se asocian con la teoría de la Gestalt son: Max Wertheimer (1923), Kurt Koffka (1935) y Wolfgang Köhler (1947). Éstos investigaron tres áreas principalmente: las leyes de agrupación, la "bondad" de las figuras –Ley de Prägnanz– y las relaciones entre figura y fondo. No obstante ciertas limitaciones en la teoría, sus planteamientos siguen teniendo vigencia en la explicación de la percepción de las formas.

Una de ella es la relación figura–fondo. Las partes de un diseño se organizan con respecto a una figura y sobre un fondo. Cuando dos áreas comparten un límite común, la figura es la forma distintiva con bordes claramente definidos. El fondo es lo que sobra, lo que está por detrás.

La Gestalt postula entonces las leyes de agrupación. Dentro de la perspectiva gestáltica, estas leyes constituyen un intento por identificar las claves más relevantes de la visión de objetos en conjuntos:

- **Ley de la similitud:** determina que los objetos similares tienden a ser percibidos como una unidad.
- **Ley de la proximidad:** establece que los objetos contiguos tienden a ser vistos como una unidad.
- **Ley de las regiones comunes o del destino común:** cuando los objetos se mueven en la misma dirección, los vemos como una unidad.
- **Ley de la buena continuación:** postula que los objetos que se encuentran arreglados en una línea recta o una curva tienden a ser vistos como una unidad.
- **Ley del cierre:** establece que cuando una figura tiene una hendidura, nos inclinamos a verla como una figura completa y cerrada.
- **Ley de la simplicidad:** cuando se observa un patrón, se percibe de la forma más básica y directa que nos es posible.

Otros conceptos asociados a estas leyes son las constancias perceptuales. Estas suceden porque las células de la retina “graban” la imagen, bien sea de figura o de fondo durante unos segundos, como impregnada o saturada por efectos de la luz o el contraste de la imagen.

- **Constancia de tamaño:** se habla de una constancia cuando la percepción de un objeto y su significado es correcta a pesar de la distancia del objeto respecto al observador.
- **Constancia de forma:** el cerebro es capaz de procesar y computar las diferentes características de un objeto para poder deducir si corresponde a, por ejemplo, un persona vista desde arriba, en escorzo, de lado, desde los pies hacia arriba y siempre dirá que es una persona (Gerrig, 2005).

Respecto a las formas bellas y a su percepción

Consideramos que existen dos componentes definitivos en la construcción de juicios de valor que a su vez constriñen la percepción

de la belleza. Las configuraciones biológicas y las estructuras socioculturales. Ambas modelan nuestra relación con el mundo físico. Biológicas en tanto que nuestro sistema neurofuncional almacena toda nuestra biografía y reaccionamos según los programas neuronales de aprendizaje, los reflejos condicionados, las emociones y todo el portafolio somático. Y sociocultural, porque los sistemas de valores y de conductas aprendidas, el lenguaje y las racionalidades intelectuales, construyen nuestro sentido del mundo. Es decir, actuamos visceral y racionalmente ante lo que nos rodea.

De hecho, hay tres niveles de lectura sobre los productos que explica (Norman, 2005). Es la manera como los percibimos en tres momentos: visceral, comportamental y reflectivo; todos ellos son las reacciones que como usuarios tenemos frente a los productos en menor o mayor medida, según el tipo de producto. El primer nivel visceral tiene que ver con el impacto a primera vista, es la atracción que sentimos hacia el producto y no hay racionamientos, ni juicios. En un segundo momento aparece lo comportamental, o como él lo llama *behavioral* y es cuando establecemos esa relación directa con el producto, lo usamos y comprobamos su desempeño funcional a lo largo del tiempo. El último nivel, pero no el menos importante, es el reflectivo o de reflejo, y básicamente explica lo que los usuarios queremos reflejar sobre nuestra personalidad a través de los productos, es un estilo de vida, un estatus y un gusto por cierto tipo de productos; ahí es donde establecemos los vínculos y las preferencias por algunas marcas en particular (un Rolex®, un Ferrari®, etc).

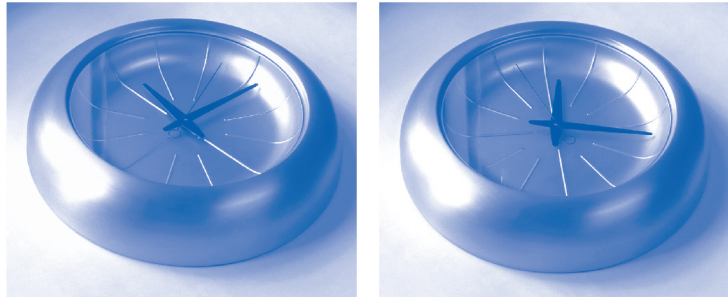
Hay una sensación que se experimenta en el cuerpo cuando percibimos algo que nos atrae, algo seductor, algo bello. ¿Está en las cosas o en el observador? La belleza es una experiencia, cargada de emociones intensas y profundas, que genera una indescriptible sensación, difícil de traducir en palabras pero que la sabemos reconocer inmediatamente se nos aparece. Por ejemplo, la atracción física, responde a nuestros dispositivos hormonales. La apetencia a la posesión de objetos o fetichismo, está catalogado como una patología y esto puede tener raíces tanto en nuestra biología como en la experiencia sociocultural. Sea cualquiera el lugar de activación de las emociones respecto a lo bello, es un hecho que se presenta. Si es en un ambiente o un espacio donde te rodeas de objetos "bellos", como dice la tradición del Feng Shui, los objetos deben estar en el lugar correcto, allí, tienes una sensación tranquila, de balance y equilibrio adecuados. Posiblemente deberá hablarse de la

experiencia de la belleza, figura 5, y la sensación de placer, la belleza y la sensación de seguridad, de estímulo sensual, de éxtasis, etc.

Desde las cosas que nos rodean, la experiencia de la belleza tiene que ver con los conceptos de orden, composición de elementos, uso del color, distribución en el espacio, cantidad y calidad de los ornamentos, tamaños en relación con sus partes (sintaxis), significados que le otorgamos (semántica) y las maneras como los usamos o transfiguramos cotidianamente (pragmática). Es decir, la belleza está determinada por la "forma" (Gestalt), como estructura de muchos y variados componentes, y en su sentido más amplio.

El término forma, como muchas palabras, tiene numerosas acepciones y sentidos. En un sentido filosófico, derivado de los pensadores griegos, se relaciona el concepto de figura con el de forma. Esta distinción corresponde a la que hay entre la figura externa y la figura interna de un objeto. Al suponer que un objeto tiene no sólo una figura patente y visible, sino también una figura latente e invisible, se forjó la noción de forma en tanto que figura interna captable sólo por la mente. Esta figura interna es llamada a veces idea y a veces forma.

Figura 5.
Experiencia de la belleza. Reloj de pared, de la empresa Umbra.



Autor: Alejandra Velásquez

A partir de las reflexiones del filósofo griego Platón, se define como forma platónica, la idea, noción, especie, y género. Posteriormente, Aristóteles introduce la noción de forma, en muchos pasajes de sus obras, pero especialmente en sus libros sobre la Física y la Metafísica. En estos textos explica las dos cualidades de la forma, que llama causa formal y materia. La materia es aquello con lo cual se hace algo;

la forma es aquello que determina la materia para ser algo, esto es, aquello por lo cual algo es lo que es. Así, en una mesa de madera la madera es la materia con la cual está hecha la mesa, y el modelo que ha seguido el carpintero es su forma de mesa.

Es importante aclarar que las formas técnicas y artificiales, creadas por el hombre, han emergido a partir del estudio y observación de las estructuras de la naturaleza (la biónica), y como en todo proceso de cambio, cada cultura ha desarrollado las formas de los artefactos bajo sus respectivas condiciones ecológicas, al tiempo que con las restricciones propias de los materiales y los procesos de manufactura desarrollados, al igual que de las funciones prácticas y de las funciones estético-simbólicas. ¿Ó estético-formales?

La belleza y sus finalidades

La belleza no es una cosa, no es un punto de llegada. Es un proceso. Es más bien una franja, un espacio donde caben conceptos y emociones. Se parece más al rango espectral de la luz que podemos ver con nuestros ojos (entre 400 y 700 nanómetros). Desde un punto de vista conceptual, está asociado con saber combinar, con vivir en tensión pero a la vez en balance, hay algo de moderación y de equilibrio. Hasta es posible pensar que la belleza es cuestión de saber juntar la belleza interior (el ser, el estar) con la belleza exterior (el hacer).

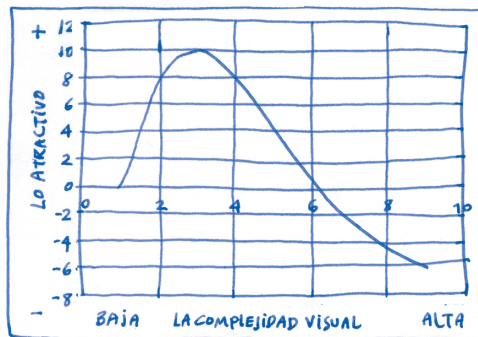
La mente humana y su sistema perceptivo tienen limitaciones de procesamiento de bits de información. Eso lo han delimitado los investigadores de la Gestalt, como lo explicamos anteriormente. Por eso, no es la cantidad de elementos lo que puede hacer bella a una imagen o un producto, sino la calidad, el contenido, la estructura, la diversidad y la simetría, entre otras cosas. Según Birkhoff, un matemático norteamericano, la belleza o "placer de la percepción", procede del término medio entre monotonía por un lado y confusión por el otro: $M=O/C$, donde M es la medida estética, O es el orden estético y C , la complejidad visual. Esto quiere decir que mientras mayor sea el orden estético de los componentes del producto mayor es la medida estética (o sea su belleza), y así mismo mientras menor sea su complejidad visual mayor es su belleza. Son dos valores inversamente proporcionales.

En la figura 6 se explica la relación que existe entre lo que se percibe visualmente como complejo y el grado de lo atractivo de la forma. (Berlyne, 1960)

De ahí podemos concluir que para que la forma de un producto nos parezca atractiva, su complejidad visual tiene que ser baja.

Para un producto que se encuentra en el proceso de diseño, buscando que el resultado sea favorecer una experiencia sobre la belleza, es importante tomar las decisiones correctas, desde la búsqueda de referentes, la geometrización con miras a equilibrar la formalización y las configuraciones posibles, hasta llegar a la solución y el diseño de detalle, buscando algo de tensión y algo de equilibrio. Es decir, sin llegar a ser un objeto absolutamente extraño y no aceptado, sino llegar al umbral, al límite, a la frontera entre lo propositivo y lo adecuado. También es muy importante resaltar, que todo producto (nuevo o no) que se diseña debe tener algún vínculo o recordación formal con un producto anterior, que haga parte de las experiencias previas del usuario, para que así lo pueda comprender, asimilar y aceptar con una mayor facilidad. Esto quiere decir que el diseño de los productos no puede ser tan lejano y tan distante de lo que el producto es, solo con la intención de hacerlo más innovador. La forma necesita de una conexión, no puede ser desconocida ni ajena al usuario; ya que el espectador lo debe poder asociar con sus imaginarios. Por lo tanto los productos no pueden ser diseñados de cualquier forma, no todas

Figura 6.
Complejidad visual vs lo atractivo de la forma.



las formas se pueden para todos los productos y más aún, para que sean bellos, el diseño y la forma de estos requieren de un cuidado especial, con algún elemento emotivo, emocional, que recuerde algo del pasado y que tenga ese ingrediente que lo haga atractivo.

La belleza, igual que una receta de cocina, tiene unos ingredientes, una temperatura y a unos tiempos determinados para que el producto final sea sorprendente, novedoso, atractivo. Hay un ritmo que no se puede “atropellar” o acelerar. La belleza forzada no funciona. Así es la actividad del diseñar.

El producto o artefacto, como resultado de un proceso de diseño que busca incorporar a los usuarios finales en la experiencia de la belleza, no depende de recursos económicos ni de tecnología solamente. Es más bien un sentido de moderación, de conocimiento y dominio de todas las variables que afectan la forma, los materiales y sus texturas, los colores, etc.

En la historia del arte ha habido momentos de excesos como el Barroco y el Rococó, e inclusive el Art Nouveau. Otros de austeridad y simplicidad como la Bauhaus, el diseño Zen o el Minimalismo. Hoy la sobreproducción y sus efectos nocivos en el ambiente natural, la vida agitada de lo urbano, la sobrecarga de información visual de los medios de comunicación, hacen que se busquen espacio más apacibles, más tranquilos y que el diseño adopte este “zietgeist” o espíritu de la época. La belleza permite percibir las emociones o sensaciones de paz, armonía y tranquilidad, porque desde su composición debe responder a lo simple, lo básico y lo sostenible. ¿Para que un producto sea sostenible tiene que ser simple o bello? Sí, según el diseñador chileno Rodrigo Alonso, quién participó en el primer simposio internacional: “Diseño y Desarrollo Sostenible” (Julio de 2009, Universidad EAFIT).

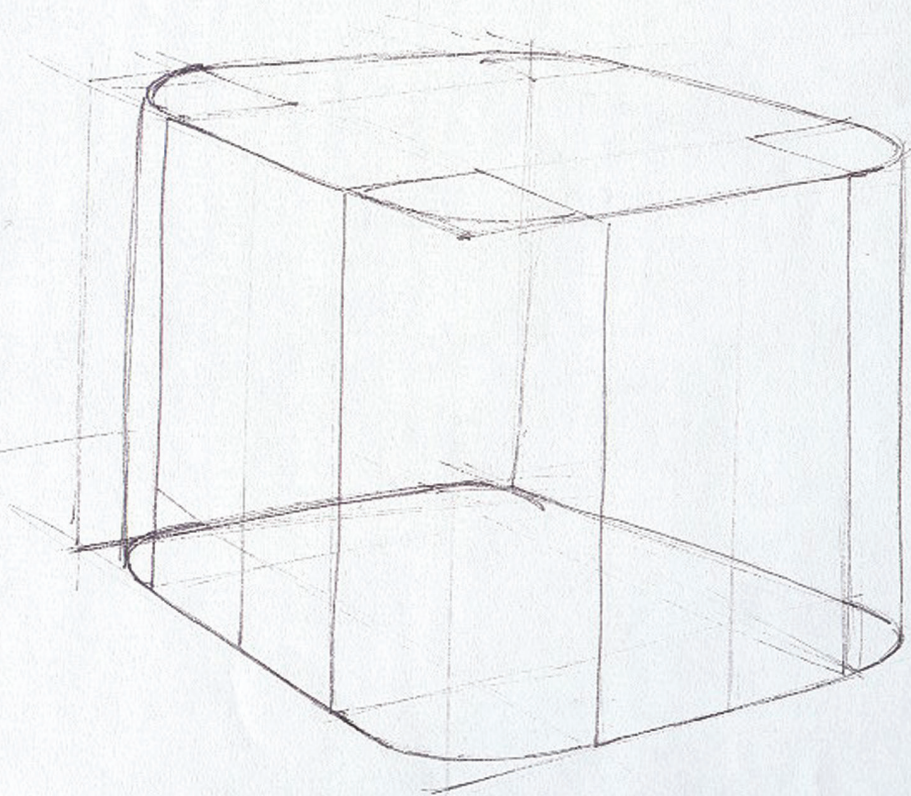
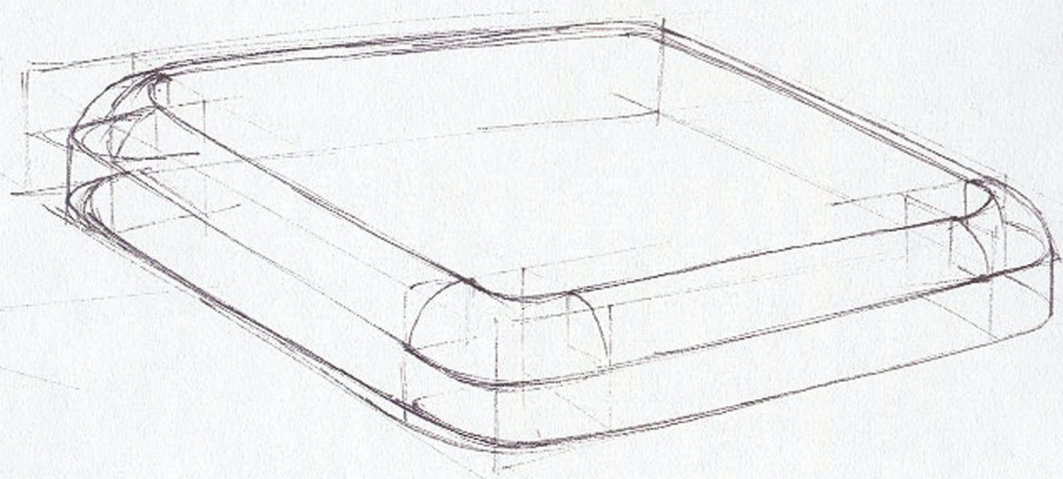
Muchas veces el diseñador tiene la tendencia de saturar el diseño de un producto. Lo recomendable actualmente es todo lo contrario, simplificarlo para hacerlo más coherente, más concreto, y quizá más bello. Se suele decir que “menos es más”. Volver a lo básico, a lo esencial. Dentro de las herramientas para diseñar están los principios de diseño: unidad, variedad, balance, énfasis, repetición, proporción, movimiento y contraste. A través de diseñar productos bellos el diseñador le puede dar sentido a lo que hace, y más que un valor agregado, es un requisito que todo producto debería tener. Al utilizar

orden, proporción y belleza se genera un valor y un sentido para quién lo diseña, tanto en el resultado como consigo mismo. Al final queda una sensación de que la tarea se hizo bien.

A modo de conclusión, recordemos lo que dice Umberto Eco en su libro *Historia de la Belleza*: "A partir del siglo XX, ya no podremos distinguir el ideal difundido por los medios de comunicación. Y deberá rendirse a la orgía de la tolerancia, al sincretismo total, al absoluto e imparable politeísmo de la belleza" (Eco, 2004)

Bibliografía

- Berlyne D. E., *Conflict, arousal and curiosity*, New York, McGraw-Hill, 1960.
- Bürdek, B., *History, theory and practice of product design*, Basel, Suiza, Publishers for Architecture, 2005, 471 p.
- Dondis, D., *La sintaxis de la imagen*, Barcelona, Ed. Gustavo Gili, 1992, 212 p.
- Eco, H., *Historia de la belleza*, Barcelona, Lumen, 2004, 440 p.
- Elam, K., *Geometry of Design: Studies in proportion and Composition*, New York, Princeton Architectural Press, 2001, 105 p.
- Gerrig, R. y Zimbardo, P., *Psicología y Vida*, México, Pearson, 2005.
- Hubka, V y otros, *Practical studies in systematic design*, Londres, Butterworths, 1988.
- Leroi-Gourham, A., *El gesto y la palabra*, Caracas, Ediciones de la Biblioteca, Universidad Central de Venezuela, 1971.
- Loos, A., *Ornamento y Delito, y otros ensayos*, Barcelona, Ed. Gustavo Gili, 1972.
- Munari, B., *Como nacen los objetos?. Apuntes para una metodología proyectual*, Barcelona, Ed. Gustavo Gili, 2004. 385 p.
- Norman, D., *Diseño emocional. Por qué nos gustan (o no) los objetos cotidianos*, Barcelona, Paidós Iberica, 2005.



Autor: Carolina Abad

Carolina Abad
2008

LENGUAJE HUMANO y ARTEFACTO TÉCNICO

Similitudes y Coincidencias

Nicolás Peñaloza Hoyos

El lenguaje humano, un vistazo a sus características

Una de las más reconocidas características filogenéticas del ser humano, es decir, de las que se tiene en común como especie *homo sapiens sapiens*, es la capacidad de lenguaje.

Es habitual que exista la tendencia de asignar a los animales la capacidad de lenguaje; sin embargo, “aplicada al mundo animal, la noción de lenguaje sólo tiene curso por abuso de términos” (Benveniste, 1999), y a pesar de que los animales puedan tener sistemas de comunicación muy sofisticados, como es el caso de la comunicación de las abejas y de los lobos, éstos no pueden considerarse un lenguaje en el sentido propio del término, sino que deben considerarse sistemas de señales que transmiten datos objetivos.

Estas estructuras de signos se relacionan con un primer nivel de los sistemas de señales, donde se involucran los sentidos como contacto directo con una realidad objetiva; pero el ser humano tiene además un segundo nivel de señales, el lenguaje, que tiene que ver con su capacidad de pensamiento y simbolización. Si el lenguaje animal se basa únicamente en la transmisión de datos objetivos de la realidad, el lenguaje humano tiene la capacidad de abstracción, y de comunicarse y hacer operaciones mentales con datos que pueden no estar o existir en la realidad. Un ser humano puede enseñar a otro, por ejemplo, cómo hacer un huevo frito sin necesidad de hacer la acción frente a su interlocutor; un chimpancé, en cambio, sólo puede enseñar a otro cómo utilizar un palo para capturar hormigas si le muestra efectivamente cómo hacerlo. Vale la pena, en este momento, hacer algunas distinciones y precisiones en los términos, debido a que la falta de claridad en las definiciones puede llevar al uso indiscriminado de conceptos como lengua y habla, lenguaje y palabra, entre otros.

Para tratar el tema de la comunicación humana hay dos enfoques principales: el primero es el que se refiere al *Lenguaje*, al que pertenecen autores como (Saussure, 1997) y (Chomsky, 1981) y el segundo, que se refiere a la *Palabra* o al *Habla*², que lo aborda muy claramente (Gusdorf, 1957).

El primer enfoque define el lenguaje como un *sistema de signos diferentes* (Mounin, 1971). Lo interesante de esta definición, en primer lugar, es que se tiene en cuenta al signo como elemento que hace parte de un *sistema*, es decir, un elemento cuyo sentido depende de la posición en la que se encuentre en su contexto (eje sintagmático o sintaxis). Este primer eje se refiere al orden de las palabras en una oración, y también al orden de los elementos en una composición visual. En segundo lugar, esta definición hace que sea necesaria una definición de *signo*, de la que hablaremos más adelante. Y en tercer lugar, es *diferente*, es decir, que la escogencia de ciertos signos para dar sentido es posible en la medida en que realmente lo que se hace es desechar los otros signos disponibles, situación conocida como el eje paradigmático.

Fue (Saussure, 1997) quien habló por primera vez de la estructura del signo, compuesta por *significante* y *significado*, siendo la primera la parte material del signo y la segunda la parte inmaterial. Para poner un ejemplo, la palabra “casa”, como una sucesión de letras, es el significante, pero la “idea de casa”, o la “idea de hogar” es su significado. Y las características del signo saussureano son tres, principalmente: 1) *el signo es arbitrario*, es decir, “no existe ninguna relación interna entre el concepto representado... y la cadena fónica que lo representa”; 2) *el signo es lineal*, o sea que depende del tiempo. Quiere decir que sólo puede captarse un signo en un instante, y se liga temporalmente con los otros signos. 3) *el signo es discreto*, es decir, es discontinuo, se elige a discreción. “Esto quiere decir que funciona por su presencia o por su ausencia globales... el signo *caballo* significa “caballo” y no “más o menos caballo”.

(Chomsky, 1981) haría, después, énfasis en la construcción de sentidos infinitos a partir de la utilización de una cantidad finita de signos, lo que podría llamarse *condición creativa del lenguaje*, o sea que un ser humano puede hacer infinidad de sentidos (frases,

2 En este punto se debe aclarar que tanto el término palabra como el término habla han sido traducidos del francés *parole*.

poemas, canciones) con un número limitado de palabras. Chomsky, por lo tanto, hace énfasis en el estudio de la oración. Esta condición creativa del lenguaje se refiere a lo siguiente: un signo posee un significado (o a veces varios) y el *sentido* se da en la organización de los signos en un contexto. En otras palabras, cada signo (una palabra, un gesto, un sonido) tiene un significado, pero lo que le da sentido a estos signos en la comunicación es la manera de agruparse unos con otros (oraciones y composiciones) para formar un todo coherente. Y la facultad humana del lenguaje le permite crear, aún en el marco de signos finitos y arbitrarios, y de normas sintácticas precisas, sentidos diferentes cada vez. Un ser humano, con las mismas palabras, puede decir cosas diferentes a partir de diferentes maneras de ordenar y componer.

El segundo enfoque en el estudio del lenguaje es la concepción de la palabra o el habla (*la parole*), que tiene que ver, ya no como la producción de sentido desde lo meramente comunicativo —como los significados y el ordenamiento—, sino desde un enfoque relacionado con la función de *expresarse*. En la primera (la comunicación) lo que importa es el mensaje transmitido, pero en la segunda (la expresión) lo que está en juego es la realización ontológica del ser, la cuestión de la identidad de quien se expresa. “La palabra designa la realidad humana tal como ella se manifiesta en la expresión. No ya función psicológica o realidad social, sino afirmación de la persona, de orden moral o metafísico” (Gusdorf, 1957). Es entonces a través de la palabra, a través de la capacidad del lenguaje, que el ser humano se comunica, pero también se afirma como ser: hablo luego existo.

El artefacto humano y el lenguaje en los productos

En una visión supremamente rápida de la filogénesis del ser humano, se podría decir que la creación de artefactos técnicos es una manifestación y capacidad de la especie humana. Pero no puede considerarse al artefacto sólo como el objeto o la herramienta útil, sino como un elemento portador y creador de sentido. Veremos muy rápidamente por qué.

La capacidad cerebral humana permitió realizar procesos de razonamiento cada vez más complejos del entorno natural y adaptar, cada vez mejor, los artefactos creados, a usos novedosos. Gracias a la

motricidad fina y a la superior capacidad cerebral, que por supuesto están relacionadas con el perfeccionamiento de las herramientas, comienza a dársele un significado a los artefactos. Por ejemplo, una vara de madera afilada es a partir de cierto momento una lanza: elemento para ser clavado en otro organismo y así defenderse o cazar. Y entonces, los artefactos pasan a tener la estructura del signo de Saussure: son un significante portador de significado.

Como vimos, el signo tiene la particularidad de ser arbitrario; entonces, el significado atribuido a los artefactos no responde solamente al *qué es el artefacto*, sino que además comienza a responder a relaciones más complejas.

Al volverse cada vez más complejos, los objetos comienzan a presentar la propiedad de comportarse como composiciones de signos, de manera muy parecida a una oración. Si tomamos el ejemplo de un vehículo, encontramos una composición coherente de signos que hacen que sea un *vehículo*, y no otra cosa: el parabrisas, los parachoques, los guardabarros, las ruedas, *en la posición que les corresponde*, hacen que este vehículo tenga sentido para quien lo ve. Si hacemos un dibujo con estos elementos pero en el *lugar que no les corresponde*, ya no es un vehículo. Es decir, que los productos y los artefactos son composiciones de signos, y si no están organizados según las normas de la persona que los va a interpretar, se pierde completamente el sentido y el entendimiento.

Ésta es la *sintaxis* o la organización de los signos en el espacio, y tiene condiciones muy parecidas a la unidad de sentido del lenguaje hablado a la que hacía referencia Chomsky: la oración. Así, muy rápidamente, se puede concluir que los productos comunican, transmiten sentido según normas de organización que podrían considerarse similares al lenguaje hablado o escrito, y, por lo tanto, esta condición sintagmática es una primera aproximación al lenguaje de los productos. Si los artefactos técnicos, en un aspecto comunicativo, tienen en común con el lenguaje hablado que crean sentido a partir de la organización de signos en un contexto, entonces tenemos una primera razón para hablar, efectivamente, del lenguaje de los productos.

No debemos olvidar que uno de los usos del artefacto, por el ser humano, es de orden simbólico o ceremonial, es decir, está cargado

de una significación que no necesariamente corresponde con el significante. Aquí el caso es todavía más complejo y más rico, porque entonces el sentido y el significado de los productos y los artefactos van más allá de responder al *qué es*. Pongamos un ejemplo: el hacha de sílex del *Homo habilis* (instrumento afilado de piedra que servía para cortar y como arma defensiva) cada vez fue teniendo una mayor carga simbólica: el hombre que tenía el hacha de sílex podía ser equivalente al de “sujeto cazador que tiene el poder”, y esto le habría valido el respeto o la admiración de sus semejantes, incluso el miedo. De hecho, el artefacto técnico que el *Homo habilis* carga y usa, lo llega a distinguir dentro de su comunidad; al portar el hacha de sílex, ese ser humano es *el cazador*, ese artefacto ayuda a definir su identidad frente a los demás miembros del grupo. Algo similar ocurre con el sentido que le asignamos a un arma de fuego hoy en día. Ésta sería una segunda aproximación al lenguaje de los productos.

En resumen, el artefacto técnico, al igual que la palabra, tiene significados múltiples, que podrían considerarse como los que van ligados al uso, y responden al *qué es el artefacto*, pero también significados que son simbólicos, que responden más a *qué sentido tiene, qué carga de valor tiene para una comunidad, qué representa*. Es en esta última dimensión de significado que el producto tiene sentido para alguien, y por lo tanto es deseado. Pongamos un caso en el que, aparentemente, la segunda dimensión del significado no aplicaría: el de una máquina inyectora de plásticos, por ejemplo. Con un esfuerzo mínimo podemos encontrar ambas dimensiones de sentido. En el primer nivel, la máquina inyectora de plásticos no pasa de ser una *máquina inyectora de plásticos*, con ciertas características de capacidad y rendimiento. Pero para un empresario, esa máquina puede representar sentidos tan complejos como *mayor rentabilidad, mejor calidad, mayor producción, más capital, menores costos*.

Esto nos lleva necesariamente a la segunda razón, y es que si complementamos el estudio del artefacto técnico con más que el estudio de su función mecánica ideal y su desempeño, el artefacto se convierte en su potencia, se carga de valor, y, en este sentido, hace ya parte del mundo del lenguaje, porque como significante que es, conlleva en sí mismo un significado convencional y arbitrario, en el que no coinciden, necesariamente, la dimensión material del artefacto y a lo que éste puede hacer referencia para una comunidad

o grupo de personas. Y como el uso de la facultad de la palabra está ligado, como vimos, con el concepto de la identidad y del ser, entonces tanto la creación como el uso del artefacto técnico también lo están, puesto que el artefacto y el producto son elementos que se encuentran también en la dimensión simbólica y del lenguaje.

Así, el diseño de productos es en sí mismo una afirmación del ser humano que los hace. Es en la creación y desarrollo de un producto, que el Ingeniero de Diseño de Producto encuentra su razón de ser y estar en el mundo, y es en la utilización de este producto como elemento signifiante, que un usuario refuerza también su identidad y su sentido. Así, la mayor responsabilidad que tenemos como ingenieros de diseño de productos es la creación de sentido: sentido para nosotros, y sentido para quienes usan y consumen los productos que diseñamos.

Bibliografía

Benveniste, E. "Comunicación animal y lenguaje humano", en: *Problemas de Lingüística General*, Tomo 1. Madrid, Siglo XXI, 1999.

Chomsky, N., *Reflexions sur le langage*, Paris, Flammarion, 1981.

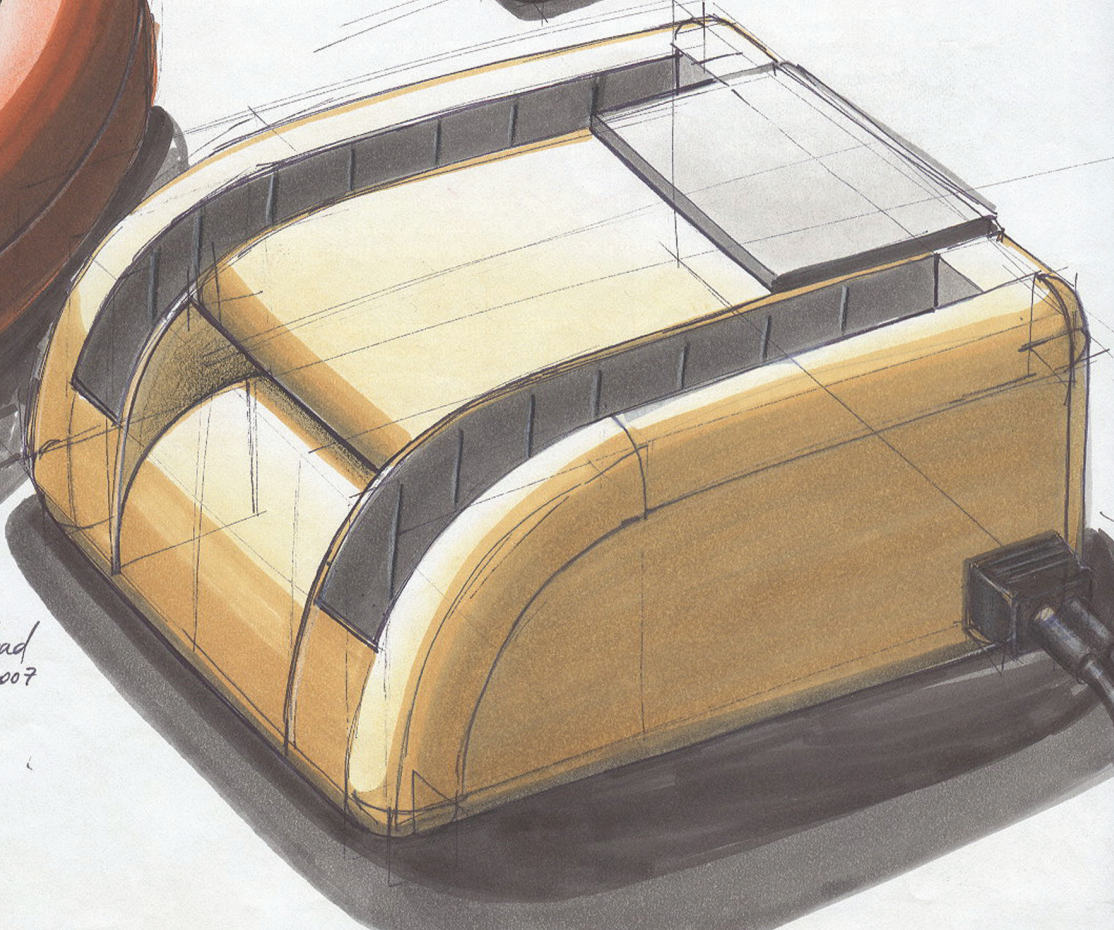
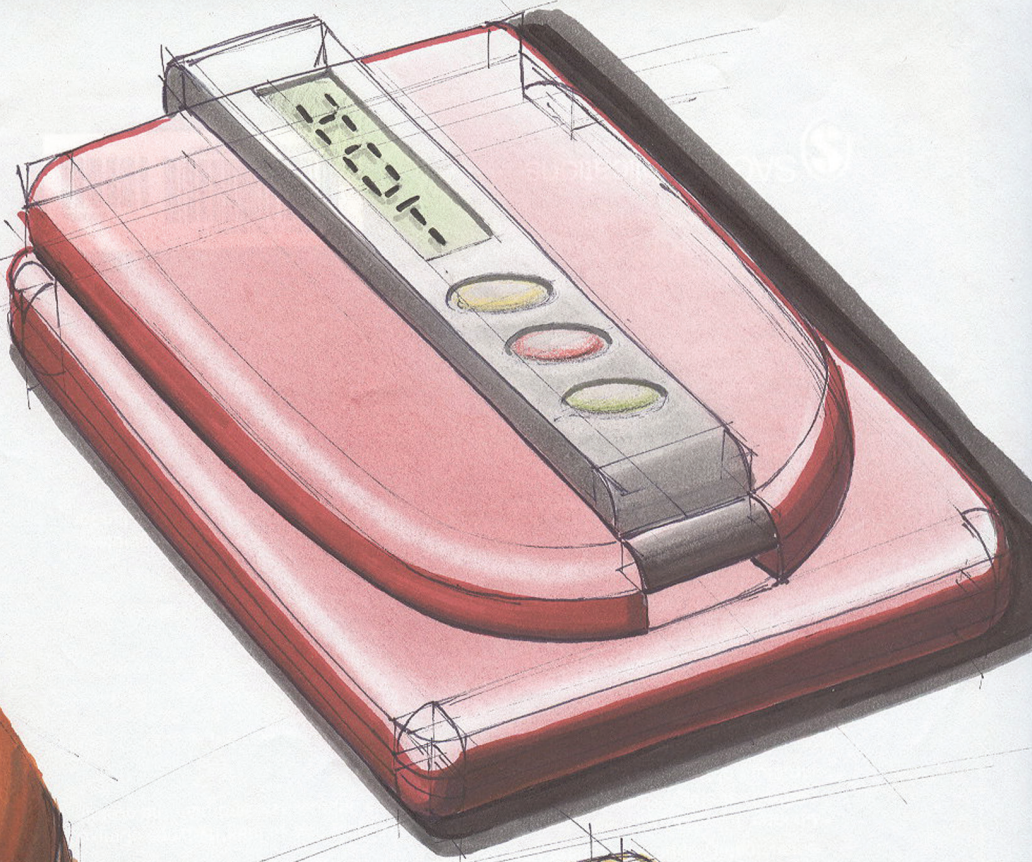
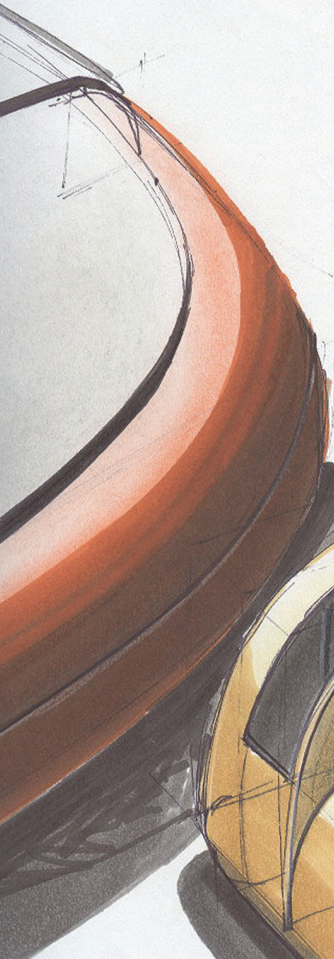
Chomsky, N., *El lenguaje y el entendimiento*, Barcelona, Seix Barral, 1980.

De Saussure, F., *Curso de Lingüística General*, Buenos Aires, Losada, 1997.

Gusdorf, G., *La Palabra*, Buenos Aires, Galatea Nueva Visión, 1957.

Mounin, G., *Saussure, presentación y textos*, Barcelona, Anatemá, 1971.

Autor: Carolina Abad



Carolina Abad
2007

ANÁLISIS FUNCIONAL de productos

José Fernando Martínez Cadavid

Introducción

El análisis funcional de productos es una herramienta de diseño que permite analizar, de manera sistemática, las funciones que ejecuta un producto (Baxter, 1995), y facilita la transición desde las necesidades y deseos de clientes/usuarios hacia la generación de alternativas y conceptos de diseño.

La evidencia empírica muestra que en la gran mayoría de proyectos de diseño de productos durables de consumo masivo, los diseñadores y equipos de diseño tienden a generar alternativas de solución, directamente, a partir de la especificación de diseño de producto, confiando completamente en los conocimientos y experiencia previa del diseñador/equipo de diseño (Otto y Wood, 2000).

Lo anterior, considerando las presiones de tiempo, presupuesto y calidad existentes, resulta ser una práctica poco recomendada ya que la relación entre los conceptos de diseño y los requerimientos de los clientes se vuelve indirecta y tácita, existiendo únicamente, en el mejor de los casos, en la cabeza del diseñador.

Además, teniendo en cuenta la creciente complejidad de los productos y el carácter multidisciplinario del diseño, este enfoque aumenta la probabilidad de que el diseñador pase por alto problemáticas asociadas a los requerimientos de diseño. En ese orden de ideas, el empleo del análisis funcional de productos permite, entre otras cosas:

- Generar un marco lógico para entender/proyectar el funcionamiento de un producto.
- Enlazar las necesidades y deseos del usuario con características funcionales del producto.

- Entender/proyectar un producto a partir de lo que el producto hace, y no a partir de cómo lo hace.
- Subdividir el problema de diseño en subproblemas que pueden resolverse más fácilmente o que pueden solucionarse por separado.
- Potenciar la creatividad al ejercitar la capacidad de descomponer problemas y de manipular para luego combinar soluciones parciales.
- Generar múltiples alternativas de diseño gracias al nivel de abstracción que se maneja.

Las herramientas de análisis funcional de mayor aplicación en los procesos de ingeniería inversa y de diseño de productos son: los árboles de funciones, las estructuras funcionales y el FAST (Function Analysis Systematic Technique). En este artículo se tratarán las dos primeras técnicas, los procedimientos recomendados para su construcción, y ejemplos de cada una de ellas.

El concepto de función y la representación de caja negra

Un sistema técnico (producto, máquina, equipo, etc.) se concibe para realizar una tarea definida bajo determinadas condiciones específicas. La formulación de esta tarea se realiza mediante la descripción de su función principal, la cual, según la norma alemana VDI 2222 se define como la relación general de acción, descrita en abstracto, entre las magnitudes de entrada, de salida y de estado de un sistema, necesaria para realizar una tarea.

Gramaticalmente hablando, las funciones se expresan como acciones sobre un sujeto, es decir, se utilizan, para su expresión, verbos que operan sobre sustantivos como por ejemplo: "Levantar la carga", "transformar energía", "separar materia", etc. En general, tal y como aparece reportado en la literatura sobre el tema, el pensar en funciones (sin pensar en elementos específicos o partes) favorece, de acuerdo con la experiencia, el encuentro de nuevas y mejores soluciones frente a una selección muy temprana de un elemento particular.

Para la nominación de las funciones (Pahl y Beitz, 2007) proponen una taxonomía, figura 1, que las agrupa en cinco categorías básicas (adverbiales) de acuerdo con las características de la función.

Figura 1.
Taxonomía de acuerdo a las características de la función.

CARACTERÍSTICA	FUNCIÓN GENERAL VALIDA	SÍMBOLO	RELACIONES DE ENTRADA/SALIDA
TIPO	CAMBIAR (TRANSFORMAR)		la naturaleza de $E \neq S$
MAGNITUD	VARIAR (AUMENTAR, DISMINUIR)		$E < S$
			$E > S$
NÚMERO	CONECTAR (UNIR, SEPARAR)		Número de $E < S$
			Número de $E > S$
LUGAR	CONDUCIR (TRANSPORTAR)		Lugar de $E \neq S$
			Lugar de $E = S$
TIEMPO	ALMACENAR		Tiempo de $E \neq S$

Fuente: Adaptado de (Pahl y Beitz, 2007)

Robert Stone propone otra posible taxonomía, denominada “base funcional”, en la cual lista y define convenciones, denominaciones y grados de abstracción para diferentes funciones con las que se puede describir cualquier artefacto. A continuación, figura 2, se presenta un fragmento de la mencionada base (Stone, 1999). Es importante anotar que un desplazamiento hacia la izquierda, en la tabla, significa un aumento en el grado de abstracción de la función que se considera.

En este punto, es pertinente hacer una diferenciación básica entre los conceptos de función y finalidad (los propósitos últimos) de los artefactos. Para tal fin, se empleará el sacapuntas como ejemplo. La función principal del sacapuntas, en abstracto, es “separar materia”, mientras que la finalidad del usuario, en la mayoría de los casos, es afilar un lápiz. La diferencia entre ambas radica en que la función está embebida en el cuerpo del artefacto (lo que éste garantiza), y la finalidad se encuentra presente en el usuario (lo que él o ella quieren hacer con el artefacto). El sacapuntas, en sí mismo, sólo puede

prometer que separará materia (madera, grafito y otros materiales constitutivos del lápiz) si se cumplen ciertos requisitos (hojas o cuchillas "afiladas", buen ajuste entre partes, etc.); sin embargo, es el usuario quien "ve" en el sacapuntas su necesidad satisfecha: un lápiz afilado. Ahora bien, si con un sacapuntas dado el usuario no es capaz de afilar su lápiz, es decir, no logra obtener la calidad de punta que él quiere, emitirá un juicio de valor diciendo: "El sacapuntas no sirve... está malo... no funciona".

Figura 2.

Taxonomía base funcional. Adaptada de (Stone, 1999)

CLASE (PRIMARIA)	SECUNDARIA	TERCIARIA	CORRESPONDENCIA
RAMIFICAR	SEPARAR	DIVIDIR	Aislar, soltar, organizar, partir, desconectar, sustraer
		EXTRAER	Refinar, filtrar, purificar, colar, fatigar, eliminar
		REMOVER	Cortar, taladrar, pulir, tornear.
	DISTRIBUIR		Difundir, disipar, dispersar, diverger, esparcir

Fuente: Adaptado de (Pahl y Beitz, 2007)

Cada función, en especial la función principal (o total) de un producto o sistema técnico, se puede representar abstractamente en forma de caja negra, figura 3. En este tipo de representación, sólo interesa conocer los estados iniciales y finales de los flujos que se transformarán en el artefacto, además de la función principal en sí, por lo que ésta se convierte en una formulación abstracta de la tarea independiente de cualquier solución particular de la misma.

Figura 3.

Caja Negra



Autor: José Fernando Martínez

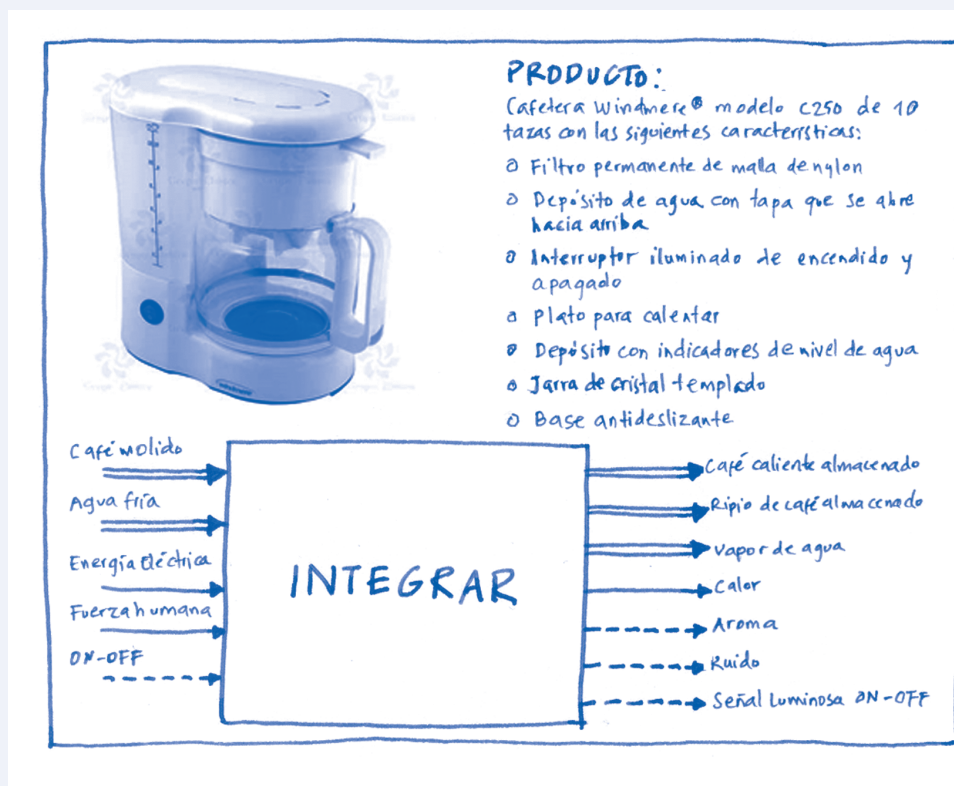
En la figura 3, los diferentes tipos de flechas hacen referencia a los tres tipos de flujos que pueden encontrarse en la naturaleza. La doble flecha continua representa el flujo de materia, la flecha continua el flujo de energía, y la línea intermitente el flujo de señal o información (Pahl y otros, 2007). Dependiendo del flujo dominante (principal) de un artefacto se puede hablar de:

- Máquina: flujo principal de energía.
- Aparato: flujo principal de materia.
- Instrumento: flujo principal de información o señal.

En la figura 4 se aprecia la representación de una cafetera como caja negra. La función principal del artefacto, en el nivel más abstracto, es “integrar” y su flujo principal es de materia, por lo que se catalogaría como un aparato.

Figura 4.

Caja negra de una cafetera



El árbol de funciones

Procedimiento

El árbol de funciones es un diagrama en el cual se representan, de manera jerárquica, las funciones de un producto y las relaciones básicas existentes entre las mismas. Para su elaboración se debe seguir el siguiente procedimiento:

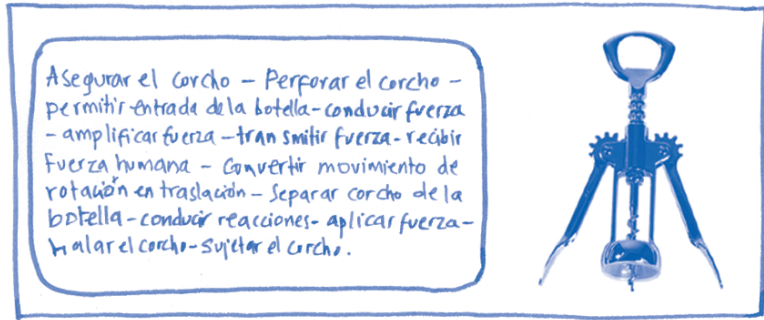
1. Hacer una lluvia de ideas de todas las funciones que el producto debe cumplir desde la perspectiva del usuario. Para que esta actividad cumpla su objetivo se recomienda:
 - Escribir las diferentes funciones del producto sin omitir ninguna, por más obvia que parezca.
 - Mantener la descripción de las funciones lo más simple posible, utilizando la forma “verbo+sustantivo”, por ejemplo: contener líquido, transmitir fuerza, almacenar energía, etc.
 - Identificar y marcar las funciones que el cliente/usuario valora en mayor grado.
 - La lluvia de ideas debe prolongarse hasta que el diseñador/equipo de diseño sienta que se han considerado todas las posibles funciones que el producto debe cumplir.
2. Determinar la función principal del producto.
3. Ubicar, bajo la función principal, las funciones básicas del producto. Éstas últimas se relacionan con la función principal de dos formas: 1) son esenciales para el cumplimiento de la función principal y 2) son las causas directas de que ésta ocurra (Baxter, 1995).
4. Continuar con el proceso de división de las funciones básicas en subfunciones para crear los diferentes niveles del árbol. Para realizar este proceso es útil preguntarse: ¿Cómo el producto cumple con la función? En cada nivel del árbol se tiene que cumplir que las subfunciones son esenciales y, a la vez, causas directas de la ocurrencia de las funciones básicas.

5. Se sigue este proceso hasta que ya no sea posible subdividir más las funciones resultantes.
6. Validar el árbol de funciones en sentido descendente. Para lograrlo, se debe verificar que se hayan incluido todas las funciones que surgieron de la lluvia de ideas. Acto seguido, en orden descendente, desde la función principal hasta el último nivel del árbol, se debe verificar que cada una de las funciones que aparece debajo de la rama bajo estudio, sea suficiente y necesaria para explicar cómo se cumple con la función que aparece en el nivel superior. Lo anterior se efectúa haciendo la pregunta ¿cómo? Si las subfunciones no son suficientes para explicar la función básica, esto significa que faltan funciones por considerar o que se han puesto en otra rama del árbol. Si se descubre que alguna de las subfunciones no es necesaria, es posible que pertenezca a otra rama del árbol.
7. Validar el árbol de funciones en sentido ascendente. Siguiendo un proceso análogo al anterior, se debe revisar la jerarquía de funciones desde el último nivel hasta la función principal. Para esto, la pregunta que debe hacerse es ¿por qué? Si la función de nivel superior es la respuesta adecuada a la pregunta, la ramificación está bien constituida.
8. Validar con un par externo. Una vez que el equipo de diseño ha terminado la construcción y validación preliminar del árbol de funciones, se recomienda validarlo con un tercero, externo al proyecto, para verificar las ramificaciones y agrupaciones de funciones propuestas, y verificar que no se haya pasado por alto ninguna función.

Ejemplo: sacacorchos manual de alas

En la figura 5, se presenta el sacacorchos objeto del análisis funcional, acompañado de un listado de funciones fruto de una sesión de *brainstorming*:

Figura 5.
Sacacorchos para análisis funcional



Autor: José Fernando Martínez

La función principal del sacacorchos, figura 6, es separar el corcho de una botella y puede representarse utilizando el modelo de caja negra como sigue:

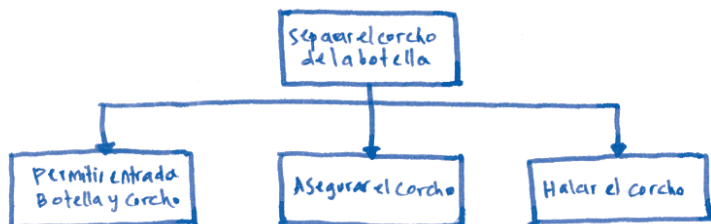
Figura 6.
Función principal sacacorchos



Autor: José Fernando Martínez

De las funciones identificadas en el *brainstorming*, las que se estiman como básicas son: permitir la entrada de botella y corcho, asegurar el corcho, halar el corcho. Estas funciones se ubican, entonces, bajo la función principal, tal como se muestra en la figura 7:

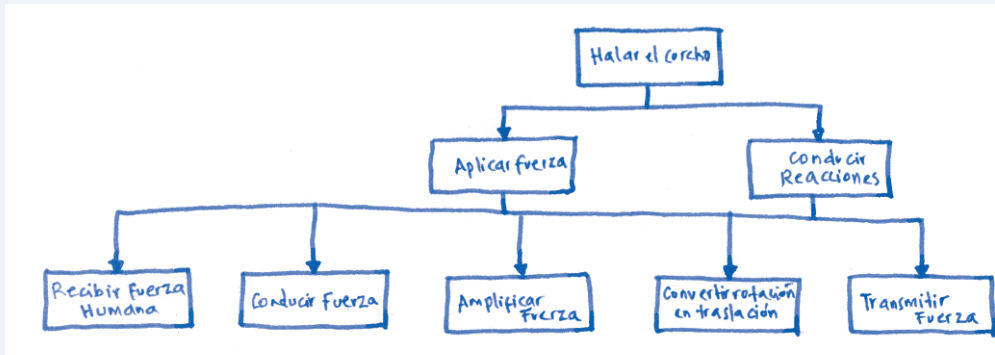
Figura 7.
Funciones básicas del sacacorchos agrupadas bajo la función principal



Autor: José Fernando Martínez

Luego, se procede a subdividir cada una de las funciones básicas identificadas previamente en subfunciones, teniendo en cuenta el listado obtenido del *brainstorming*. En la figura 8 se presentan las subdivisiones de la función "halar el corcho":

Figura 8.
Subdivisiones de la función "halar el corcho"



Autor: José Fernando Martínez

Luego de jerarquizar todas las funciones listadas con anterioridad, y de efectuar la subdivisión sucesiva de funciones y subfunciones, se arma el árbol como se presenta en la figura 9. Nótese que para fines del ejercicio, se han señalado las funciones principal, básica y subfunciones. Además, se ha hecho una correspondencia entre algunas de ellas y los componentes del producto.

Una vez construido el árbol, se procede a validarlo en sentido ascendente y descendente realizando las respectivas preguntas: ¿Cómo? y ¿por qué? Tal y como se explicó en el proceso de construcción del mismo.

La estructura funcional

Fundamentos

Dividir cada problema en tantas pequeñas partes como fuese posible y necesario para resolverlo mejor.

Descartes

Si bien es cierto que un producto o sistema puede representarse como una caja negra, rara vez se tiene una visión clara de la forma en

Figura 9.
Árbol de funciones del sacacorchos



que debe resolverse la relación entrada/salida que se produce en él, y los procesos físicos necesarios para alcanzar dicha transformación. Por esto, se hace pertinente, tal y como se menciona en el fragmento de Descartes, descomponer la función principal en subfunciones parciales menos complejas, que permitan su abordaje y comprensión.

Al considerar a los artefactos como arreglos de acciones (funciones) orientados a fines (Rodríguez, 2003), e involucrando el concepto de descomposición funcional—necesario para el mejor entendimiento de un problema—puede establecerse que una estructura funcional es un modelo en el cual:

- Se describe el orden interno (estructura) de un artefacto.
- Dicho orden se expresa en términos de las funciones, y sus relaciones a través de flujos de materia, energía y señal.
- El arreglo resultante permite que se cumpla la función principal del artefacto.

Esta visión implica un cambio de paradigma en el diseñador, ya que lo obliga a pensar en términos de funciones abstractas, antes que pensar en elementos concretos. Es decir, se pasa del pensamiento objetual al pensamiento funcional.

Al igual que lo establecido para la función principal, las funciones parciales deben formularse en términos abstractos generales, con el fin de mantener el campo de posibles soluciones lo más amplio posible. La representación utilizará la misma gramática de verbos (acciones) operando sobre sustantivos (flujos), y se puede aplicar la taxonomía de funciones propuesta por (Pahl y Beitz, 2007) o por (Stone, 1999).

Elaboración de estructuras funcionales

Para la elaboración de estructuras funcionales pueden emplearse dos métodos a saber (Rozenburg y Eeckels, 1995):

- Analizar una solución existente para el problema de diseño planteado (o un problema comparable); se estudian las partes o componentes de dicha solución para “traducirlas” a funciones, y luego se deriva la estructura funcional requerida.

- Sintetizar la estructura a partir de las funciones elementales o generales. La función principal se divide gradualmente en subfunciones más simples y gradualmente se añaden las funciones parciales necesarias, de acuerdo a las condiciones del problema, para completar la estructura.

El enunciado de un problema no lleva imperativamente al desarrollo de una única estructura funcional. Una de las fortalezas del análisis funcional radica precisamente en que pueden generarse y compararse, de manera abstracta, diferentes alternativas para estructurar funcionalmente un nuevo producto.

A continuación, se mostrará la secuencia de pasos recomendada para la elaboración de una estructura funcional. Se utilizará como ejemplo de aplicación la cafetera Windmere®, cuya caja negra se desarrolló previamente.

Desarrollar cadenas funcionales para cada flujo que entra al sistema

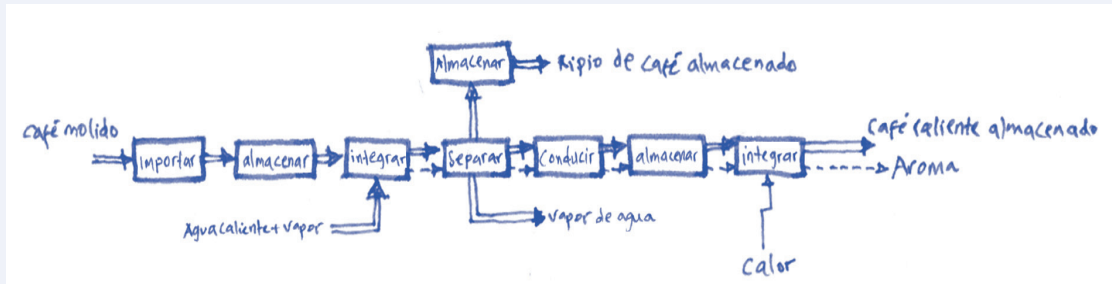
Gracias a la representación de caja negra se conocen el número, el estado y el tipo de flujos que entran al sistema. Para desarrollar las cadenas funcionales de cada entrada, debe hacerse un seguimiento de las acciones que el artefacto ejerce sobre el flujo, esto significa que el diseñador debe “convertirse” en el flujo y “perseguirlo” a medida que éste se transforma en el artefacto. En síntesis, la pregunta clave en esta etapa del análisis es: “¿Qué le hace el artefacto al flujo?”.

El seguimiento debe hacerse desde el momento en que el flujo entra, hasta que sale del sistema o se transforma en otro flujo. De presentarse este último caso, deben seguirse las operaciones sobre el flujo transformado hasta que salga del sistema. En la figura 10 se aprecian dos cadenas de funciones para la cafetera, en la parte (a) se muestra el seguimiento al flujo de café mientras que en la (b) se muestra el seguimiento al flujo del agua.

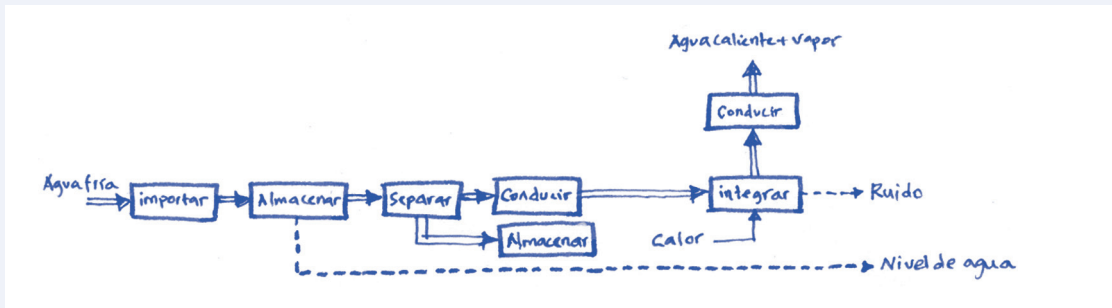
Cuando se está derivando una cadena funcional es importante recordar que, por lo general, los procesos desarrollados por los artefactos constan de tres fases a saber: una fase de preparación, una fase de ejecución (realización de la transformación) y, por último, una

Figura 10.
Cadenas funcionales para la cafetera

(a) Cadena funcional del café



(b) Cadena funcional del agua



Autor: José Fernando Martínez

fase de conclusión. Cada una de estas fases puede estar compuesta de una o más subfunciones, es decir, no es necesario que exista una correspondencia uno a uno entre fases y funciones. En el caso de la cadena funcional del agua de la cafetera son funciones de preparación: importar y almacenar; de ejecución: separar y conducir; y de conclusión: integrar y conducir.

Ensamblar las cadenas en una única estructura funcional

Una vez derivadas las cadenas funcionales para cada flujo que entra al sistema, se procede a generar la estructura funcional completa. Esto se logra relacionando las distintas cadenas funcionales entre sí. En este punto pueden presentarse dos casos: primero, que existan funciones comunes entre las cadenas, en cuyo caso bastará con combinarlas y realizar el ensamble en los puntos comunes, o

segundo, que sea necesario agregar funciones, dado que no existe una correspondencia explícita entre las cadenas generadas.

En la figura 11 se presenta la estructura funcional completa del secador (nótese que las dos cadenas funcionales mostradas anteriormente se encuentran presentes).

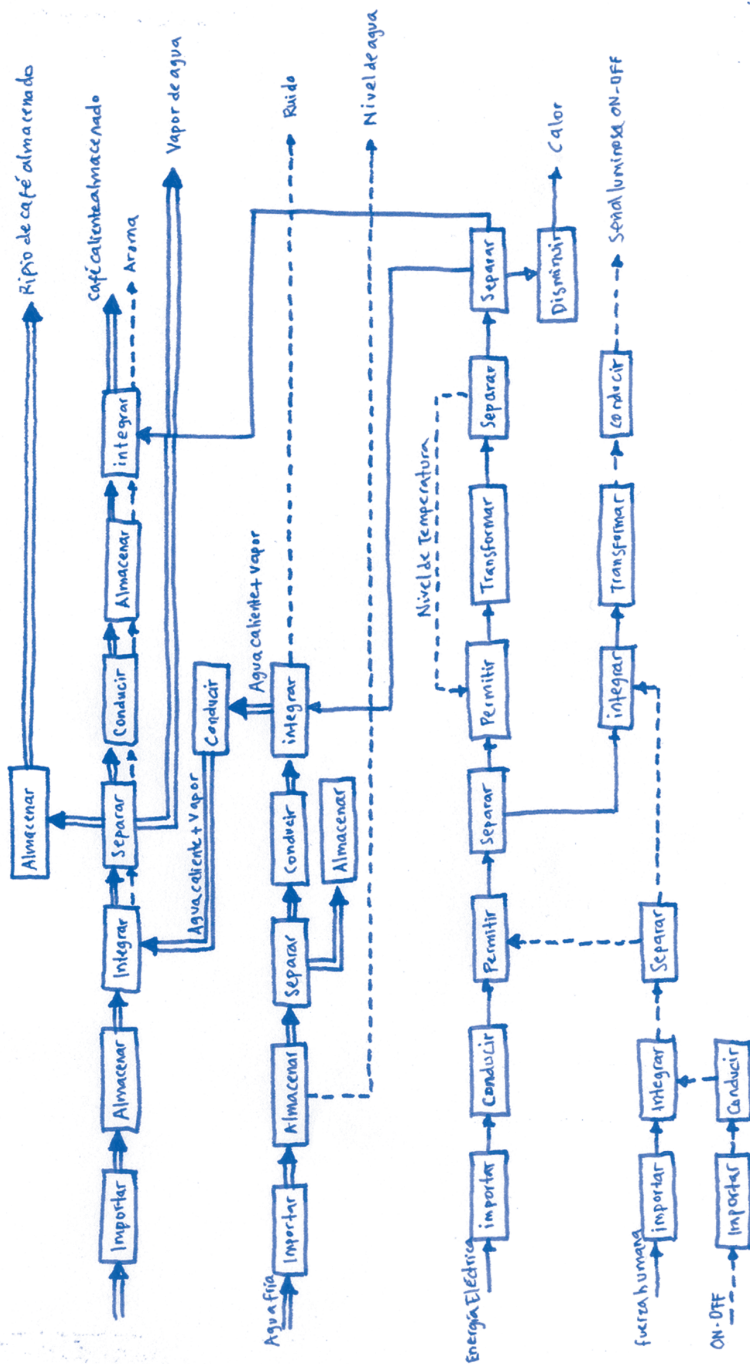
Consideraciones y recomendaciones finales

En la estructura funcional de la cafetera está presente un elemento fundamental que muchas veces es omitido cuando se están elaborando estructuras funcionales: la frontera. Tal y como lo establece la teoría de sistemas, al crearse (definir) un sistema a través de señalar una diferencia o distinción, éste se debe diferenciar de todo aquello que no pertenece al sistema. De ese modo, todo lo que no pertenece al sistema constituye el entorno. No existe sistema sin entorno o entorno sin sistema (Rodríguez, 2003).

A continuación, se lista una serie de recomendaciones que deben considerarse a la hora de desarrollar el modelo funcional de un producto, ya sea nuevo (síntesis) o existente (análisis). (Pahl y otros, 2007; Roozenburg y Eeckels, 1995):

- En primera instancia, debe construirse una primera estructura funcional en la cual se muestren las principales subfunciones del artefacto bajo análisis (o en diseño). Luego, cada una de éstas será desglosada con más detalle. A menudo, el análisis de un concepto de diseño inicial ayuda a encontrar las subfunciones esenciales.
- Debe empezarse por la cadena funcional principal (aquella que transforma el flujo principal del artefacto) dado que es determinante para el diseño. Las cadenas funcionales auxiliares de propulsión (transformación y transmisión de energía) y de control, se desarrollarán después.
- Ciertas subfunciones (o cadenas de subfunciones) son comunes en muchas estructuras. El conocimiento de las funciones generales o elementales ayuda en la búsqueda de funciones parciales de productos específicos.

Figura 11.
Estructura funcional del secador



- Una estructura funcional puede optimizarse desarrollando tres tipos de variantes, a saber: a) uniendo o separando funciones, b) cambiando el arreglo de las sub-funciones, o c) extendiendo o contrayendo la frontera del sistema.
- Las estructuras funcionales deben ser lo más simples que sea posible.
- Los diagramas que representan la estructura deben ser ordenados de una manera adecuada.
- La estructura funcional, en sí misma, no es un fin del diseño sino una ayuda que soporta la generación y sustentación de soluciones útiles. La experiencia del diseñador y la naturaleza de la tarea determinan el grado de detalle requerido.
- El desarrollo de estructuras funcionales es un proceso iterativo. No hay nada de malo en ayudarse analizando un diseño existente o partir de una idea preconcebida, lo importante es que en el curso del análisis se mantenga el grado de abstracción para no sesgar la solución del problema de diseño.

Bibliografía

Baxter, M., *Product Design: Practical Methods for the Systematic Development of New Products*, s.l., Chapman & Hall, 1995.

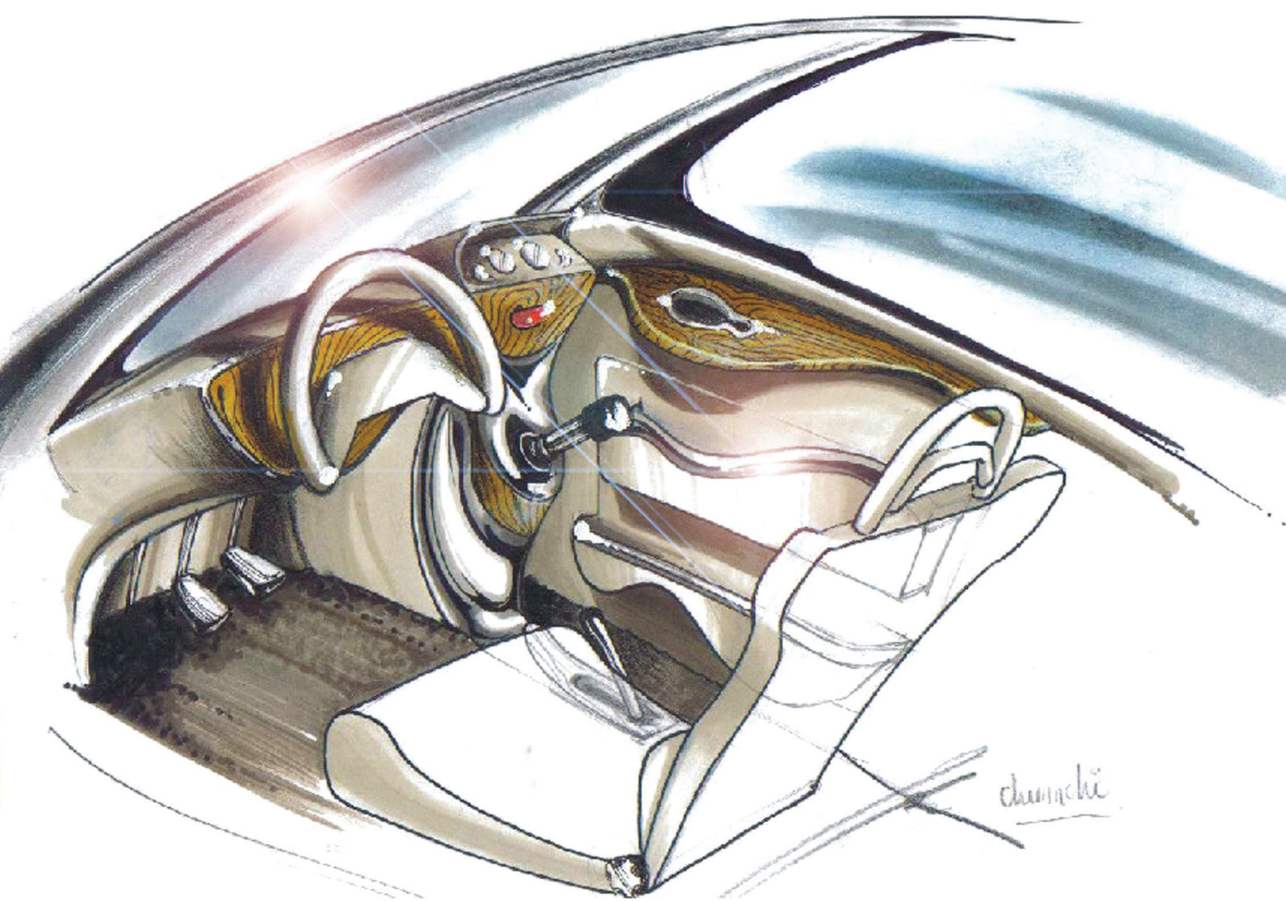
Otto K.; Wood, K., *Product Design: Techniques in Reverse Engineering and New Product Development*, s.l., Prentice Hall, 2000.

Pahl, G. et al., *Engineering Design: a Systematic Approach*, s.l., Springer, 2007.

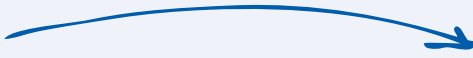
Rodríguez, A., *Artefactos: diseño conceptual*. 1.a ed., Medellín, Fondo Editorial Universidad EAFIT, 2003, 198 p.

Roozenburg, N.F.M. y Eekels, J., *Product Design: Fundamentals and Methods*, s.l., John Wiley & Sons, 1995, 407 p.

Stone, R, Wood, K., *Development of a functional basis for design. Proceedings of the 1999 ASME Design Engineering Technical Conferences* (11th International Conference on Design Theory and Methodology), Paper núm. DETC99/DTM-8765, las Vegas, NV, 1999.



GERENCIA DE DISEÑO



María Cristina Hernández Monzalve
Marcela Velásquez Montoya

Introducción

La Gerencia de Diseño (*Design Management*) se puede definir como “el establecimiento de la actividad de diseño y desarrollo de productos como un programa estratégico dentro de una empresa, coordinando recursos en todos los niveles y actividades que se generan dentro de la misma”. (Topalian, 1983; Blaich, 1993; Cooper y Press, 1994; Borja de Mozotta, 2003; Von Stamm, 2003; Bruce y Bessant, 2004; Best, 2008).

Según esto, la Gerencia de Diseño está relacionada e involucra en primer lugar a la empresa y el entorno en el que se desempeña, en segundo lugar a la actividad de diseño con sus fases, procesos y herramientas, y por último, a las personas involucradas en esta actividad dentro de la empresa. Las interrelaciones e interdependencias que se generan entre estos tres actores involucran dos áreas del conocimiento: *la administración y el diseño* las que, interactuando de manera conjunta, permiten un mejor desempeño de las empresas y de los productos como se ha demostrado en el contexto nacional e internacional.

Cada una de estas dos áreas del conocimiento posee una metodología propia, a la vez que se apoyan tanto en las ciencias de la administración como en los métodos sistemáticos para el desarrollo de productos; contienen herramientas computacionales, metódicas de diseño y temas derivados de la experiencia, de gran valor para apoyar la comprensión, análisis y síntesis de los conceptos académicos y su aplicación en la práctica empresarial. Se puede considerar que la gerencia de la actividad del diseño y desarrollo de productos es una actividad que combina conocimientos de carácter técnico, en relación con el desarrollo de productos y conocimientos de carácter administrativo relativos a la gerencia de proyectos de diseño.

El estado actual de la formación en Gerencia de Diseño

Para analizar el estado actual de la formación en Gerencia de Diseño de Producto se tuvieron en cuenta tres fuentes de información: 1) literatura reciente sobre la gestión de diseño en la empresa, 2) estudios recientes del Design Management Institute sobre tendencias en la formación de profesionales en programas de Design Management en el mundo y 3) la revisión de 25 programas de posgrado, tanto nacionales como internacionales en el tema de gestión de diseño.

La literatura más relevante sobre la gestión de diseño en la empresa muestra que el diseño participa en el posicionamiento estratégico de la compañía y en el proceso de construcción de una ventaja competitiva (Moultrie y otros., 2006; Borja de Mozota, 2003; Kotler y Rath, 1984).

El término gestión de diseño hace referencia a la implementación del diseño como un programa oficial o una actividad estratégica dentro de una organización. Esto implica entender y comunicar la relevancia del diseño dentro de los objetivos a largo plazo de la organización, y coordinar todos los recursos destinados a la actividad del diseño en todos los niveles y en todas las actividades para alcanzar los objetivos corporativos propuestos (Blaich y Blaich, 1993; Borja de Mozota, 2003; Cooper y Press, 1999).

La gestión del diseño involucra además los siguientes aspectos (Borja de Mozota, 2003):

- La integración del diseño en la estructura corporativa en el nivel operacional (el proyecto de diseño como tal), organizacional (el departamento de diseño) y estratégico (la misión y visión de la compañía).
- La administración del sistema de diseño dentro de la compañía. Como se puede observar de los modelos de los procesos de diseño, cuando se desarrolla un proyecto se generan objetos tangibles tales como documentos, planos, modelos, prototipos, etc. Cada compañía tiene un sistema particular de diseño y como tal, éste debe ser administrado.

En el contexto de las ciencias administrativas, el diseño puede ser visto desde cuatro perspectivas complementarias: 1) como diferenciador y fuente de ventajas competitivas en el mercado a través de la marca, fidelización del cliente, precios u orientación al consumidor, 2) como integrador y recurso que mejora los procesos de desarrollo de nuevos productos y favorece plataformas de líneas de productos, modelos de innovación centrados en el usuario y la gestión de proyectos en el FFE,² 3) como transformador y recurso para la creación de nuevas oportunidades de negocio, mejorar las habilidades de la compañía a enfrentar el cambio o experticia para interpretarse mejor a sí misma y al mercado y 4) como buen negocio que permite incrementar las ventas, mejorar los márgenes, aumentar el valor de marca, la participación en el mercado, el retorno sobre la inversión y, a la larga, beneficiar a la sociedad.

De otro lado, un estudio reciente (2007) del Design Management Institute³ sobre tendencias en la formación de profesionales en programas de Design Management en el mundo, tanto a nivel de pregrado como de posgrado, muestran cómo los programas que ofrecen hoy en día no sólo escuelas de Diseño sino también escuelas de Negocios, son complementados, casi todos, con prácticas empresariales y con un especial énfasis en la construcción de equipos interdisciplinarios.

El estudio muestra la inclusión de nuevos temas en el currículo como Innovación y Diseño, Pensamiento en Diseño, Solución de Problemas, utilizando el diseño y las competencias del mismo como elementos esenciales en la formación, de manera que los diseñadores están pasando a ejercer roles gerenciales. También muestra áreas comunes y diferentes en los currículos y la manera como están enfrentando las necesidades de la industria.

2 Fuzzy Front End (FFE): nombre que se le da en la literatura a las primeras fases del proceso de desarrollo de nuevos productos.

3 El Design Management Institute establecido en la ciudad de Boston en Estados Unidos, es una organización sin ánimo de lucro que busca incrementar el conocimiento del diseño como una actividad esencial de la estrategia de un negocio. Fundada en 1975, se ha convertido en una autoridad internacional en Gerencia de Diseño. Tiene un gran reconocimiento alrededor del mundo, el cual ha logrado por su gran conocimiento, herramientas y programas de entrenamiento, conferencias, seminarios y publicaciones entre otros.

Se destacan en el estudio los siguientes aspectos:

- La institucionalización del valor de la relación entre el diseño y el negocio permitiendo que los diseñadores se conviertan en líderes en la definición de nuevos productos y servicios, en la gerencia del portafolio, en el direccionamiento estratégico y el manejo operativo de proyectos de desarrollo de nuevos productos, entre otros.
- Nuevos caminos en la formación en donde varios programas ofrecen la doble titulación “Master of Design/Master of Business Administration”. Ambos se complementan representando para las empresas un valor agregado, considerando la creatividad desde el Diseño y el análisis y toma de decisiones desde la Administración.
- El uso de nuevas técnicas para facilitar el trabajo en equipos interdisciplinarios. Las nuevas técnicas combinadas con el juego de roles, permiten a los estudiantes un mejor entendimiento de lo que pueden hacer y cómo pueden actuar con otros para lograr el cumplimiento de los objetivos de un proyecto.
- La distinción en el énfasis que se hace en los programas de Gerencia de Diseño por regiones: 1) En Estados Unidos los programas tienen un énfasis en lo corporativo y se están moviendo de la gerencia de proyectos hacia otros aspectos del negocio como la marca y las comunicaciones, 2) en Europa los programas están asociados a políticas sociales y culturales de los países y son promocionados por consejos nacionales de diseño como el Design Council en el Reino Unido y 3) en Hong Kong, se hace un énfasis en la aplicabilidad y practicidad de los programas, en donde la teoría es complementada con experiencias prácticas y casos de estudio.

En la revisión de 25 programas de posgrado en gerencia de diseño, figura 1, en la que se consideraron tres especializaciones en Colombia, cuatro posgrados en América Latina y dieciocho posgrados ofrecidos en distintos países europeos, se encontró que los países que han involucrado el diseño en las organizaciones desde hace más tiempo, como es el caso del Reino Unido, son los que hoy en día ofrecen el mayor número de programas en gestión de diseño. Además, empresas internacionales de consultoría de diseño como IDEO, Design Continuum, Sunidee y empresas con departamento

de diseño como: Philips, Sony y Apple cuentan con un gerente de diseño de producto en el desarrollo de proyectos estratégicos.

Figura 1.
Revisión de programas afines



Autor: Maria Cristina Hernández

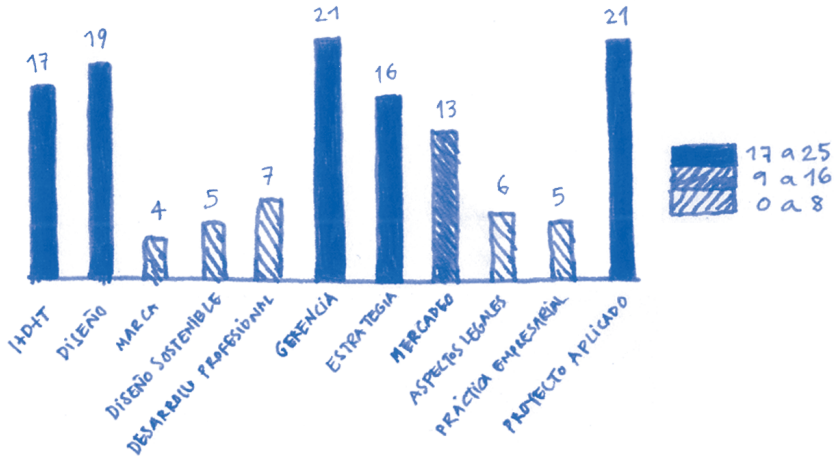
En el análisis se identificaron 10 áreas de estudio comunes en los 25 programas, figura 2, y posteriormente se identificaron 5 temas relevantes dentro de estas áreas, figura 3, por ser los más frecuentes.

Figura 2.
Áreas de estudio comunes



Autor: Maria Cristina Hernández

Figura 3.
Temas y frecuencias



Autor: Maria Cristina Hernández

Considerando todos los elementos presentados, es posible entonces señalar las cinco áreas de interés en Gerencia de Diseño: 1) Gerencia de Proyectos de Diseño, 2) Diseño con énfasis en Creatividad, 3) Investigación, Desarrollo y Tecnología con énfasis en Innovación en producto, 4) Estrategia en el direccionamiento de nuevos productos y 5) Proyecto Aplicado utilizando casos de estudio de empresas del medio.

En el contexto nacional, la experiencia del pregrado en Ingeniería de Diseño de Producto y los resultados de los proyectos de investigación:⁴ “Análisis de la actividad de diseño como factor de innovación en empresas del sector plástico de Antioquia” en el 2006 y “Aplicación de una herramienta de diagnóstico en procesos de desarrollo de nuevos productos en Pymes del sector manufactura” realizado en el 2007, ambos con recursos de la institución, hacen visible los siguientes aspectos relacionados con la gerencia de la actividad de diseño dentro de las empresas colombianas:

- La necesidad de ver el diseño en Colombia como una actividad

⁴ Los proyectos de investigación fueron desarrollados por la línea de investigación en Gestión e Innovación en Diseño del GRID, Grupo de Investigación en Ingeniería de Diseño de Producto de la Universidad EAFIT.

estratégica y como una herramienta indispensable para enfrentar la apertura de los mercados, debido a los parámetros que existen de calidad en diseño fuera del país.

- La necesidad de formar profesionales más cercanos a la industria manifestada por empresarios que consideran que la preparación de los profesionales nacionales debe estar más cerca de la industria, del mercadeo y de los procesos productivos.
- La opinión de los diseñadores quienes manifiestan que los empresarios prefieren copiar los modelos extranjeros de productos antes que invertir en diseño, ya que lo consideran un costo.
- La necesidad de que surjan con más naturalidad los departamentos de desarrollo de producto, y que la innovación sea un proceso habitual y constante para la evolución de los sectores de la industria en donde están surgiendo.
- La importancia que tiene para la industria entender el rol del diseñador de manera que éste pueda posicionarse como un profesional capaz de atender las demandas de los nuevos tratados, en donde los factores de diferenciación radican en el desarrollo de productos innovadores y competitivos.
- La necesidad de establecer y poner en práctica unas políticas claras para la actividad del diseño, insertada en planes de desarrollo a nivel de programas de gobierno que hagan de ésta una herramienta para la competitividad del país.
- La necesidad de llamar la atención de diseñadores y otras disciplinas frente a situaciones que enfrenta el país dentro de un mundo globalizado, en relación con un desarrollo sostenible y equitativo de las sociedades, que permita dar respuestas efectivas a necesidades concretas.
- Gerenciar en Pymes el proceso de diseño y desarrollo de nuevos productos en todas sus fases.
- Alinear el diseño como una actividad estratégica dentro de las organizaciones.
- Tener claridad sobre el significado del diseño dentro de la empresa.
- Hacer del diseño una actividad formal con mayores intenciones

que los requisitos para cumplir las normas ISO de calidad.

- El diseño y desarrollo de productos en la empresa es una actividad interdisciplinaria, que necesita mecanismos de control, que contribuye a aumentar la competitividad y que es sobre todo una actividad compleja.

Esto permite hacer una declaración importante: el medio colombiano carece de un gerente de diseño de producto.

Considerando lo anterior y dadas las oportunidades que brinda la globalización, las nuevas tecnologías de información en relación con el desarrollo de nuevos productos y la necesidad de promover la actividad de diseño a un nivel estratégico dentro de las organizaciones, se hace necesario un gerente de diseño de producto capaz de alinear la estrategia de diseño y desarrollo de productos innovadores a la estrategia de la empresa.

La Gerencia de Diseño de Producto le permite al Ingeniero de Diseño de Producto desarrollar competencias para:

- Definir una dirección estratégica en la empresa para el diseño y desarrollo de productos.
- Gerenciar proyectos de diseño de desarrollo de nuevos productos.
- Utilizar herramientas y métodos de diseño para innovar y diferenciar productos.
- Presentar proyectos de diseño utilizando herramientas verbales, escritas y visuales.

Bibliografía

Blaich, R.; J. Blaich, *Product Design and Corporate Strategy: Managing the Connection for Competitive Advantage*, Nueva York, McGraw-Hill, 1993.

Borja de Mozota, Brigitte, *Design Management: Using Design to Build Brand Value and Corporate Innovation*, 1.ª ed; Nueva York, Allworth Press, 2003, 281p.

Bruce, Margaret; John Bessant, *Design in Business*, s.l., Pearson Education Limited, A publication of Prentice Hall, Financial Times and Design Council, 2004.

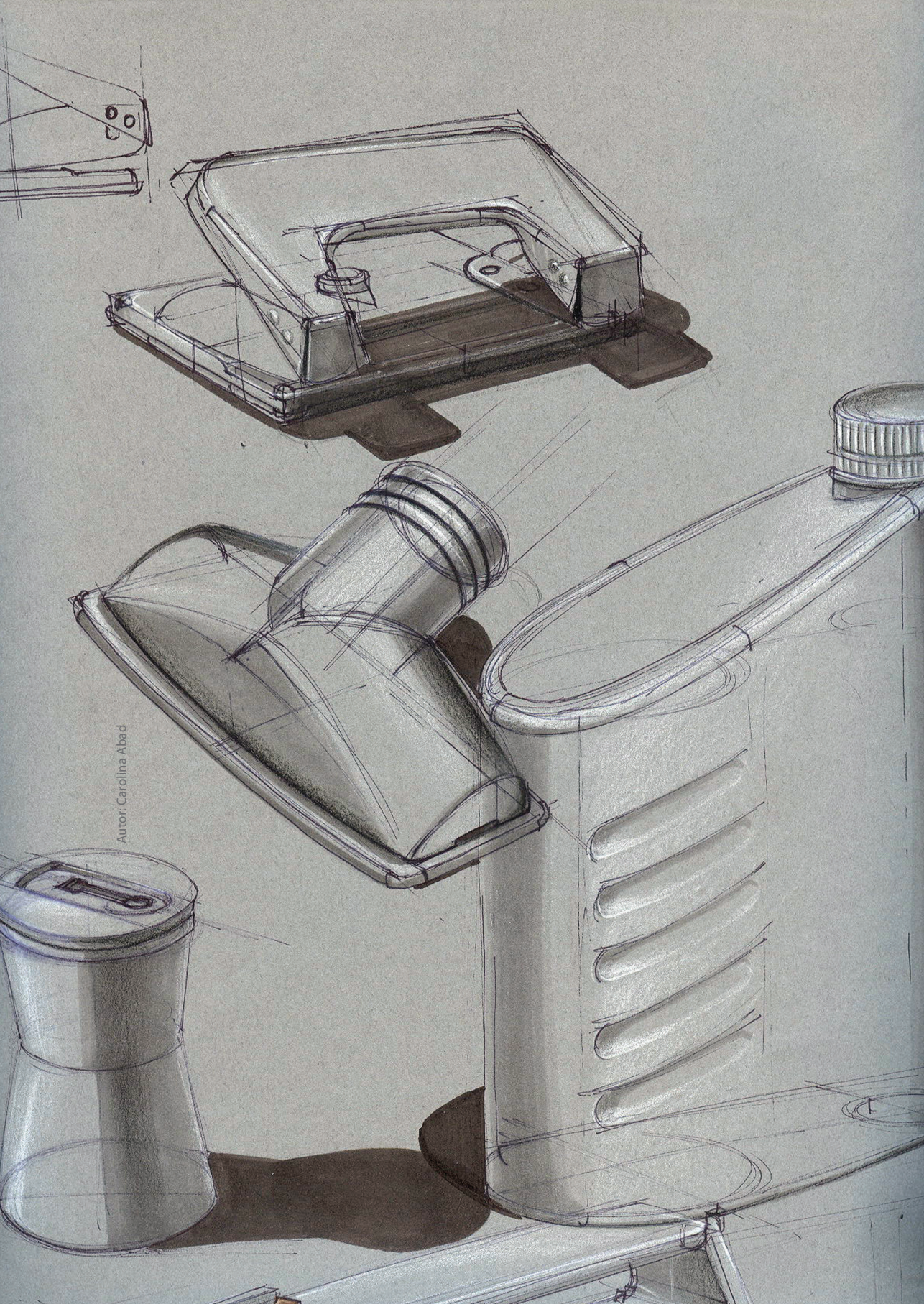
Cooper, R.; M. Press, *The Design Agenda: a Guide to Successful Design Management*, s.l., John Wiley & Sons, 1999.

Kotler, P., A. Rath, "Design a Powerful But Neglected Strategic Tool", *Journal of Business Strategy*, vol. 5, núm. 2-16, 1984.

Moultrie, J. et al., "A Tool to Evaluate Design Performance in SMEs", *Journal of Productivity and Performance Management*, vol. 55, núm. 3-4, 2006.

Topalian, A., "The Development of Design Management Education", *Alto Design Management*, Londres, 1983.

Von Stamm, B., *Managing Innovation, Design & Creativity*, West Sussex, John Wiley & Sons, 2003.



Autor: Carolina Abad

PDS-ESPECIFICACIONES DE DISEÑO DE PRODUCTOS:

Evaluación de elementos, su importancia y aplicación en el diseño y desarrollo de productos. →

María Cristina Hernández Monzalve

Introducción

La percepción o el grado de importancia que se asigna a los requerimientos expresados para cada uno de los 32 elementos del PDS enumerados por (Pugh, 1991) y que se han utilizado en el diseño y desarrollo de productos, es fundamental para el desarrollo de un proyecto académico. Sin embargo, y dependiendo de características particulares como la edad, el género o el contexto cultural de los usuarios del producto, hace variar el grado de importancia de los requerimientos y, por consiguiente, las implicaciones directas que tiene cada uno de estos elementos en el desarrollo del producto.

Evaluar el grado de importancia de los elementos del PDS para los usuarios, es decir el peso relativo que cada uno de ellos significa, es una actividad importante en el proceso de desarrollo de un producto. Esta actividad, previa al inicio del diseño conceptual, reduce posibilidades de riesgo en la definición de la especificación del producto. Por esta razón, aprender a realizar una evaluación previa del grado de importancia de los elementos del PDS es un tema importante en la formación del ingeniero de diseño de producto.

En este documento se reportan los resultados de la aplicación de los 32 elementos del PDS propuestos por (Pugh, 1991)² en proyectos académicos, en combinación con un método de evaluación de requerimientos de los clientes, durante la fase de desarrollo conceptual de

2 El Profesor Stuart Pugh fue director de la División de Diseño de la Universidad de Strathclyde en Inglaterra donde enseñó diseño a estudiantes de ingeniería. Trabajó muchos años en la industria antes de dedicarse a la academia. Fue consultor en la implementación de métodos de diseño en numerosas compañías incluyendo General Motors. Es el autor del libro *Total Design* en el cual el diseño es visto como una actividad sistemática necesaria desde la identificación de una necesidad hasta la venta exitosa del producto que satisface esa necesidad. Esta actividad incluye: el producto, los procesos, las personas y la organización.

un producto propuesto por (Huang, 1999)³, y finalmente el desarrollo y aplicación de una herramienta que permite identificar, al inicio de un proceso de desarrollo de un producto, cuáles de éstos son realmente importantes considerando dos aspectos: el usuario final y el tipo de producto a desarrollar.

Importancia del PDS en el NPD – proceso de diseño y desarrollo de productos –

Clarificar un problema de diseño y desarrollo de un producto es una de las labores a las que se enfrenta el ingeniero de diseño de producto, tanto en su formación académica como en el ejercicio de su profesión. Entender las necesidades, demandas y deseos que pueden llegar a tener los usuarios del producto, las empresas que los producen, los clientes, los proveedores y todos los involucrados con el producto en cuestión, para convertirlas en soluciones reales, no es una tarea fácil cuando se quiere encontrar una solución que cumpla las expectativas de todos los involucrados.

Para ello, existen herramientas de diseño que ayudan a clarificar la idea, de manera que durante el proceso de diseño existan ciertos límites que permitan desarrollar una solución adecuada para el problema que se estudia. Una de estas herramientas es el PDS (*Product Design Specifications*), que ayuda a clarificar el problema de diseño en la medida que permite establecer requerimientos técnicos, con medidas y valores en etapas tempranas del desarrollo de un producto, y durante el proceso de investigación de los problemas asociados al mismo.

(Pugh, 1991) propuso un modelo llamado el *Total Design Model* en el cual un conocimiento a fondo del mercado y una investigación a fondo de las necesidades y deseos de los usuarios, eran las actividades más importantes antes de comenzar el establecimiento de los requerimientos técnicos o especificación de un producto, los que a su vez era necesario establecer antes de comenzar la etapa de conceptualización. Posteriormente, un análisis de la especificación o requerimientos técnicos de productos, realizado en Inglaterra (Hollins,

3 El profesor YM Huang pertenece al Departamento de Ingeniería Mecánica de la National Taiwan University of Science and Technology, Taipei, Taiwan.

1999) arrojó como resultado que la razón principal del fracaso de ciertos productos se debía a procesos inadecuados de investigación de mercados y de las necesidades de los usuarios, que implicaban igualmente un establecimiento inadecuado de la especificación del producto a desarrollar.

El NPD —proceso de desarrollo de nuevos productos— siempre implica riesgos; por esta razón, el establecimiento de la especificación o requerimientos al comienzo del proceso de diseño es esencial para el buen desempeño de un producto. Considerando lo anterior, el establecimiento de requerimientos técnicos es un tema que debe ser estudiado ampliamente por los ingenieros de diseño de producto.

Un conocimiento profundo de los aspectos que involucra el buen establecimiento de los requerimientos técnicos del PDS, como son: el mercado, el usuario, la capacidad tecnológica, la cultura corporativa, la capacidad financiera, el escenario político y los elementos que componen el *brief* del producto, entre otros, son básicos para el proceso de diseño y desarrollo de los mismos.

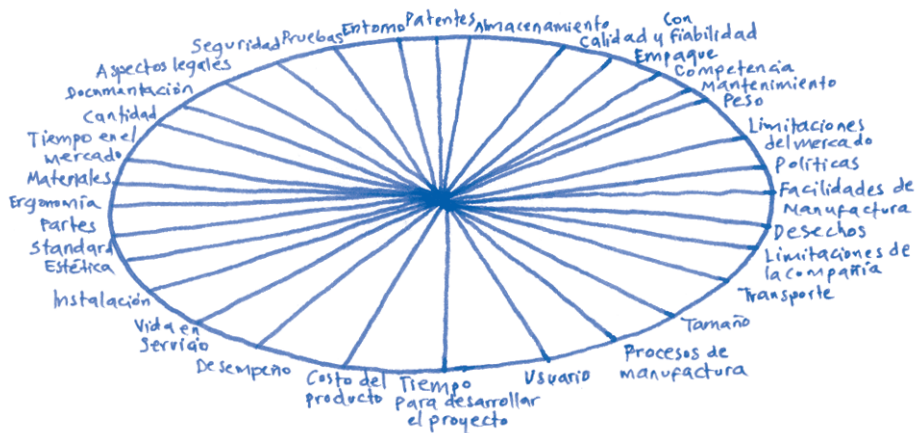
Cuando se analizan las metodologías de diseño y desarrollo de productos que se han utilizado en el programa de Ingeniería de Diseño de Producto (Pugh, 1991; Cross, 1999; Baxter, 1995; Ulrich y Eppinger, 2009; Roozenburg y Eekels, 1995) todas incluyen la identificación de necesidades como etapa previa a la elaboración de las especificaciones durante la fase del desarrollo de un concepto.

La herramienta del PDS de Pugh ha sido la más utilizada en el pregrado en Ingeniería de Diseño para la interpretación de necesidades, demandas y deseos en requerimientos técnicos, ya que expone, de manera detallada, una descripción de todos los aspectos que debe cumplir el producto para poder ser lanzado al mercado. Ésta información ayuda en el proceso de decisiones que se deben tomar durante su elaboración. Para este proceso de toma de decisiones durante el NPD, el grupo de estudiantes puede definir por anticipado los requerimientos que responden a las necesidades, demandas y deseos identificados en la fase de investigación del problema, las que pueden alterar el producto y hasta determinar si una idea de producto se puede llevar a cabo o no.

Resultados de la aplicación del PDS propuesto por Pugh en los proyectos académicos

Durante varios años en el programa de Ingeniería de Diseño de Producto de la Universidad EAFIT y más específicamente en la materia Proyecto —dictada desde el primero hasta el octavo semestre— así como en los proyectos de grado, se han considerado los 32 elementos propuestos por Pugh, figura 1, para definir las especificaciones de diseño de los productos a desarrollar. Esta herramienta también se ha implementado en otras materias que, además de estar incluidas en el programa de Ingeniería de Diseño, se encuentran en el programa de Ingeniería Mecánica. Estas materias son Diseño Conceptual y Diseño Metódico.

Figura 1.
Elementos del PDS.



Fuente: adaptado de Elements of the PDS (Pugh, 1991).

Al observar los resultados de los proyectos, se ha encontrado que a pesar de que la herramienta ayuda a clarificar el problema de diseño y a orientar a los estudiantes a una mejor solución, puede resultar un poco confusa, lo que puede llevar a una mala utilización de la herramienta y, en consecuencia, a una solución de diseño poco acertada. Los profesores han expresado sus inquietudes con respecto a la herramienta y a su utilización, y han llegado a concluir que se encuentran algunas falencias en todas las materias, casi siempre por esa misma razón.

De parte de los estudiantes se ha avanzado mucho en la apropiación de la misma, utilizando distintos formatos, tabla 1, aunque todavía se encuentran dos grandes dificultades: 1) traducir necesidades, demandas y deseos identificados en la fase de investigación de un problema en requerimientos técnicos de ingeniería, ya que en muchos casos los requerimientos están bien establecidos pero cuando se miran los problemas identificados no hay una conexión clara y 2) el PDS se ha utilizado en muy pocos casos para definir los criterios de evaluación de los conceptos desarrollados, versus los requerimientos de ingeniería establecidos, minimizando el potencial de la herramienta para tomar decisiones sobre cuál concepto desarrollar y cuál no.

Tabla 1.

Formato del PDS de Pugh

PRODUCTO _____		ASUNTO _____		
FECHA _____				
ELEMENTO	COMPETENCIA	MODELO ACTUAL NUESTRO	ESTE INTENTO	REQUERIMIENTO TÉCNICO
ERGONOMÍA descripción			demandas y deseos	con una medida y un valor
SEGURIDAD descripción			demandas y deseos	con una medida y un valor
DESEMPEÑO descripción			demandas y deseos	con una medida y un valor

Fuente: adaptado de *Format for a Product Design Specification* (Pugh, 1991).

Aplicación de la herramienta de comparación para la evaluación de los requerimientos del usuario durante el diseño conceptual, propuesta por Y.M. Huang

Con el fin de evaluar la importancia de los requerimientos de un producto desde el punto de vista del usuario, durante el desarrollo de un concepto de diseño, (Huang, 1999) propuso una lista de 20 elementos que se deben tener en cuenta, y que ayudan a clasificar el grado de importancia de las necesidades encontradas. La importancia de estos elementos, sin tener en cuenta el tipo de producto a desarrollar, es evaluada a través de un método de comparación de

pares, tabla 2, para mirar cuál tiene mayor importancia para tener en cuenta en el desarrollo del concepto.

Tabla 2.
Método de comparación de pares de Huang

	Elemento1	Elemento2	Elemento3	Elemento4	Elemento5	Elemento6	
Elemento1		-	-	+	-	+	Reflejo A
Elemento2	+		-	+	+	-	Reflejo B
Elemento3	+	+		+	-	-	Reflejo C
Elemento4	-	-	-		-	-	Reflejo D
Elemento5	+	-	+	+		+	Reflejo E
Elemento6	-	+	+	+	-		
S	3	2	2	5	1	2	
W%	20%	13.3%	13.3%	33.3%	6.6%	13.3%	
	A	B	C	D	E	F	

Fuente: adaptado de (Huang, 1999).

Como parte de un ejercicio académico se utilizó el método de comparación propuesto por Huang, pero utilizando los 32 elementos de Pugh. Con el método, cada uno de los 32 elementos es comparado con otro elemento, dando lugar a una matriz, tabla 3, en la que cada ítem de la fila es comparado con un ítem de la columna. El encuestado pone un signo positivo si considera que el elemento de la columna (superior) es más importante que el elemento de la fila. De lo contrario, pone el signo menos. El encuestado sólo tiene que llenar los espacios que se encuentran por debajo de la diagonal trazada desde la esquina superior izquierda hasta la esquina inferior derecha. La *S* en la tabla significa el total de signos positivos en cada columna. Luego *S* es dividido por el número total de comparaciones (que resulta de aplicar la fórmula $N \times (N-1)/2$) para obtener el factor *W* para cada ítem en la tabla. Finalmente el factor de peso de cada ítem se obtiene del porcentaje que resulta de la tabulación de todas las tablas que se hayan llenado para cada usuario que llenó el formulario.

Retomando la tabla 2:

$$N \times (N-1)/2 = 6 \times (6-1)/2 = 15 \text{ (número total de comparaciones)}$$

Donde N= número de aspectos evaluados.

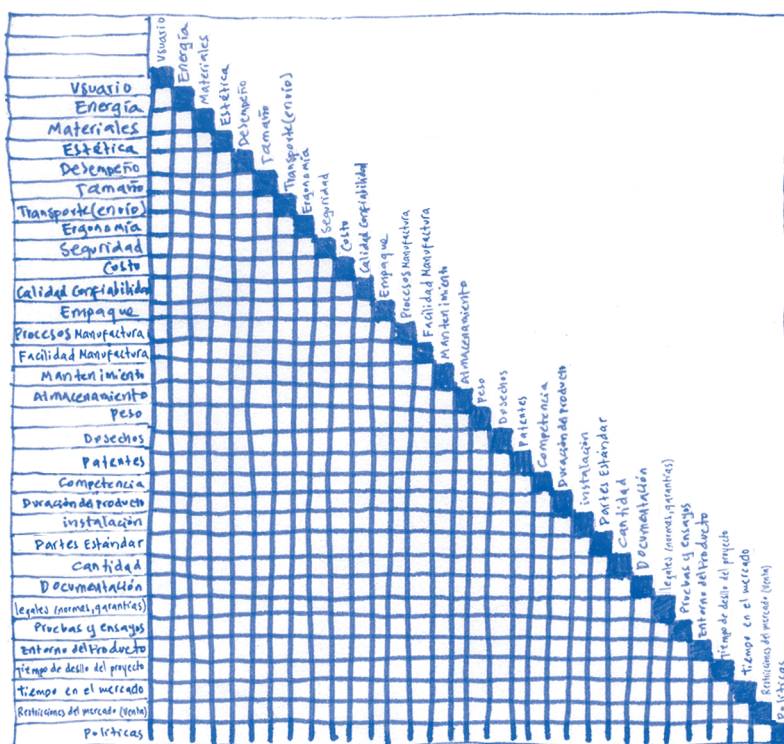
Con el factor de comparación (15) se calcula el peso (w) de cada uno de los aspectos evaluados.

- $W1 = 3/15 = 20\%$ 2 lugar en importancia
- $W2 = 2/15 = 13.3\%$ 3 lugar en importancia
- $W3 = 2/15 = 13.3\%$ 3 lugar en importancia
- **$W4 = 5/15 = 33.3\%$ 1 lugar en importancia**
- $W5 = 1/15 = 6.6\%$ 4 lugar en importancia
- $W6 = 2/15 = 13.3\%$ 3 lugar en importancia

En este caso el resultado señala que el elemento 4 es al que debe ponerse mayor énfasis en el desarrollo del concepto.

Tabla 3.

Método de comparación de pares de Huang con los 32 elementos de Pugh



Fuente: Elaborado por los estudiantes

Para el caso de los 32 elementos de Pugh:

$$N \times (N-1)/2 = 32 \times (32-1)/2 = 496 \text{ (número total de comparaciones)}$$

Resultados de la aplicación de la herramienta de Huang

Aunque la herramienta propuesta por Huang ayudó a distinguir la importancia de los elementos para el análisis de requerimientos, se encontraron varias desventajas en la utilización de la herramienta y los datos obtenidos, considerando los 32 elementos de Pugh:

- La dificultad por parte del usuario al no tener un producto como referencia para elaborar la tabla, no permite a los profesionales que trabajan en el desarrollo de un nuevo producto tener información precisa sobre su objeto de estudio. Como la herramienta no califica los elementos de una manera diferente para cada producto, ya que en la metodología no se especifica el producto que va a ser evaluado, genera resultados generales sobre lo que los usuarios piensan con respecto a los elementos del PDS, pero puede dar lugar a sesgos de información en la investigación, ya que no es lo mismo pensar por ejemplo, en materiales para electrodomésticos que materiales para muebles, etc.
- Si el tamaño de la muestra es muy grande, resulta difícil para el encuestador realizarla debido al tiempo involucrado en cada una de ellas. La prueba tiene una duración promedio de 45 minutos.
- La aplicación de la herramienta es compleja en términos gráficos, en muchos casos los encuestados manifestaron su dificultad para entenderla. El formato es visualmente pesado y tedioso de calificar, lo que puede llevar a errores en la cuantificación de los datos y de esta manera contaminar el resultado de la prueba. Se detectó que al final los encuestados terminan llenando el formato de una manera automática, lo que también puede dar lugar a sesgos en la información.
- La dificultad de los encuestadores para entender y aplicar el método alteró los resultados.
- Como muchos de los elementos no son claros para los encuestados, sus apreciaciones sobre el grado de importancia de los

mismos se veían afectadas por las explicaciones dadas por el encuestador.

- Se encontraron también dificultades para relacionar elementos ya que el formato presenta una mezcla entre unos que son importantes para la empresa y otros para el usuario final del producto.

Propuestas iniciales para el desarrollo de una nueva herramienta

Los resultados de la herramienta motivaron a un grupo de estudiantes a hacer una discusión sobre posibles soluciones a los problemas encontrados, dentro de los que se destacan los siguientes aspectos:

- La necesidad de dar un incentivo a los encuestados para motivarlos a llenar el formulario.
- La necesidad de crear un nuevo formato para facilitar al encuestado llenar el formulario. Uno de los grupos utilizó un formato distinto que mejoró el tiempo dedicado a llenar el formulario pero no de una manera significativa.
- Evaluar la necesidad de dividir los elementos en dos categorías: los que son de interés del usuario y los que son de interés de la empresa.
- Formalizar los resultados para generar un archivo de referencia para el desarrollo de nuevos productos.

Con estos elementos presentes los estudiantes utilizaron varias herramientas de las cuales se destacan dos que presentaron elementos valiosos para el desarrollo de una nueva herramienta. La propuesta 1 basada en la escala de Stapel, tabla 4, y la propuesta 2 basada en la escala de Likert, figura 2. En la propuesta 1 se agregaron dos elementos adicionales a los 32 de Pugh (señales indicativas y medio ambiente) y en la propuesta 2 se tuvieron en cuenta sólo 24 de los 32.

Basado en la escala Stapel, en la cual se coloca una palabra o frase en el centro de una escala de 10 puntos, el estudiante ubicó cada uno de los elementos del PDS que quería evaluar en una escala de -5 hasta

Tabla 4.
Propuesta 1

-5	-4	-3	-2	-1	USUARIO	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	ESTÉTICA	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	TAMAÑO	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	ERGONOMÍA	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	EMPAQUE	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	ENTORNO	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	VIDA EN SERVICIO	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	TIEMPO EN MERCADO	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	PRUEBAS	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	PRECIO	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	COMPETENCIA	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	DESEMPEÑO	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	DOCUMENTACIÓN	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	SEGURIDAD	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	INSTALACIÓN	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	TRANSPORTE	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	ALMACENAMIENTO	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	PARTES ESTÁNDAR	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	MANUFACTURA	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	CALIDAD	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	CANTIDAD	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	DESECHOS	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	PESO	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	MANTENIMIENTO	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	TIEMPO DE DESARROLLO	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	MATERIALES	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	SEÑALES INDIKATIVAS	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	MEDIO AMBIENTE	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	LIMITACIÓN MERCADO	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	ASPECTOS LEGALES	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	POLÍTICAS	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	FACILIDADES MANUFACTURA	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	LIMITACIONES COMPANÍA	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	PATENTES	1	2	3	4	5

Fuente: estudiante Andrés Montoya

+5 (en donde -5 es poco importante y +5 muy importante). Con este método las personas encuestadas (en este caso la muestra era un grupo de mujeres amas de casa entre 35 y 45 años) fueron invitadas a señalar hasta dónde el elemento era importante o no.

La tabla 5 presenta un formato diligenciado por una de las encuestadas.

Tabla 5.

Aplicación de la herramienta basada en la escala de Stapel

Nombre de la encuestada: Olga Cecilia Correa - Edad: 45 años

-5	-4	-3	-2	-1	USUARIO	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	ESTÉTICA	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	TAMAÑO	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	ERGONOMÍA	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	EMPAQUE	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	ENTORNO	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	VIDA EN SERVICIO	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	TIEMPO EN MERCADO	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	PRUEBAS	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	PRECIO	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	COMPETENCIA	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	DESEMPEÑO	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	DOCUMENTACIÓN	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	SEGURIDAD	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	INSTALACIÓN	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	TRANSPORTE	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	ALMACENAMIENTO	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	PARTES ESTÁNDAR	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	MANUFACTURA	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	CALIDAD	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	CANTIDAD	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	DESECHOS	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	PESO	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	MANTENIMIENTO	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	TIEMPO DE DESARROLLO	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	MATERIALES	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	SEÑALES INDICATIVAS	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	MEDIO AMBIENTE	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	LIMITACIÓN MERCADO	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	ASPECTOS LEGALES	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	POLÍTICAS	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	FACILIDADES MANUFACTURA	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	LIMITACIONES COMPANÍA	1	2	3	4	5
-5	-4	-3	-2	-1	PATENTES	1	2	3	4	5

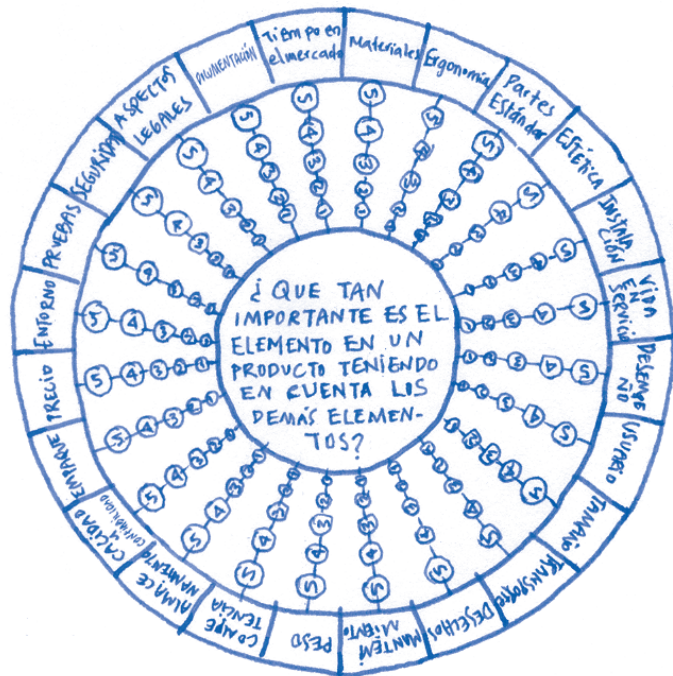
Fuente: estudiante Andrés Montoya

La utilización de la escala Stapel disminuye el tiempo de realización de la prueba y hace que el formato para contestar sea más fácil por parte del usuario y de tabular por parte del encuestador. Con esta

herramienta, el tiempo de realización de la prueba que era de 45 minutos, se redujo a 35 minutos.

En la figura 2 se presenta la propuesta 2 que se basa en la escala de Likert.

Figura 2.
Propuesta 2



CALIFICACIÓN

- (5) IN DISPENSABLE EN EL PRODUCTO
- (4) SUMAMENTE IMPORTANTE EN EL PRODUCTO
- (3) MENIAMENTE IMPORTANTE EN EL PRODUCTO
- (2) POLO IMPORTANTE EN EL PRODUCTO
- (1) NO SE TOMA EN CUENTA EN EL PRODUCTO

FEMENINO ○
MASCULINO ○

Fuente: estudiante Mabel Salazar.

En este caso, las encuestadas fueron invitadas a señalar en una escala de 1 a 5 (ver calificación en la figura) a partir de la pregunta: ¿Qué tan importante es para usted este elemento dentro de un producto? Con el diseño circular se trató de hacer la actividad más dinámica y menos

pesada que la matriz de Huang. Adicionalmente, a cada una de las encuestadas se les entregó una hoja con una breve explicación de lo que es cada uno de los elementos. La aplicación de este formato permitió identificar, de una manera fácil para el encuestado, cada uno de los elementos, lo mismo que la tabulación para el encuestador.

De la aplicación de estas propuestas salieron algunas conclusiones positivas con respecto a su desempeño, al igual que datos que indicaron la posibilidad de hacer nuevas mejoras:

- En ambas pruebas los elementos considerados por el usuario como los más importantes fueron estética, usuario y tamaño. Entre los menos importantes se encontraron el precio, el desempeño y el medio ambiente.
- Los resultados obtenidos con ambas propuestas son muy similares a los resultados obtenidos en la aplicación de la herramienta de Huang, lo que significa que el rediseño de la herramienta no afecta los resultados de manera significativa.
- En ambas propuestas fue más fácil para los usuarios que responder el formulario.
- En la aplicación de la propuesta 2 (basada en la escala de Likert) la disposición circular de los elementos, junto con una hoja en la que se explicaban los elementos del PDS, ayudó a que las personas se orientaran en sus respuestas sin pedir ayuda del encuestador para solución de dudas.
- Con la propuesta 2 el tiempo de respuesta del cuestionario se redujo a 15 minutos y resultó mucho más fácil para los usuarios la visualización de los diferentes elementos a ser evaluados, gracias al apoyo de la hoja adicional con la explicación de algunos elementos. Aquí hay que tener en cuenta que sólo se evaluaron 24 elementos de Pugh.

Aunque la aplicación de las dos pruebas trajo consigo resultados positivos, tanto en la comprensión de la prueba por parte del encuestado como en la tabulación de datos, se encontraron algunos puntos débiles que pueden ser mejorados:

El formato sigue siendo complejo para las personas que lo responden (para el caso de la propuesta 2 se necesita una hoja adicional de

explicación de los elementos y la propuesta 1 no tiene ninguna explicación). Esto sugiere que el usuario debe tener un conocimiento previo de los elementos a evaluar.

El tiempo de aplicación del cuestionario sigue siendo largo para los encuestados.

Desarrollo de la nueva herramienta

Basándose en los puntos débiles y las dificultades encontradas con las propuestas 1 y 2, se procedió entonces a desarrollar una nueva herramienta para evaluar la importancia de los elementos del PDS, que permitiera tanto a estudiantes como a profesionales definir los elementos que deben ser prioritarios cuando se diseñan y desarrollan nuevos productos. La nueva herramienta desarrollada busca facilitar la recopilación de la información y obtener resultados confiables, además de reducir el tiempo de aplicación de la prueba.

En la fase de desarrollo de la herramienta se definieron unos objetivos:

- Revisar las propuestas 1 y 2 para ver si es posible resolver los problemas de cada una de ellas.
- Asegurar que el tiempo de aplicación de la herramienta sea de 25 minutos máximo.
- Seleccionar los elementos más pertinentes para el usuario final.
- Diseñar un nuevo formato para la herramienta que facilite al usuario la forma de llenarlo (se considerará en particular la forma y contenido del mismo).
- Definir un segmento de la población para aplicar la nueva herramienta y realizarlo a 50 personas.
- Tabular e interpretar resultados alcanzados con la nueva herramienta.
- Documentar el proceso para aplicar la nueva herramienta.
- Concluir con base en los resultados obtenidos
- Hacer recomendaciones sobre la aplicación de la herramienta.

Una vez analizados los elementos propuestos por Pugh y Huang, los formatos utilizados y teniendo en cuenta los problemas encontrados, el grupo de estudiantes consideró que 27 de ellos le competen directamente al usuario final y 6 no le competen al usuario final en relación a su interés por un producto, sino que son elementos que le competen a la empresa. La lista de elementos seleccionados para la construcción de la nueva herramienta y que tiene que ver sólo con el usuario se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6.
Elementos seleccionados

1	DESEMPEÑO
2	CALIDAD y CONFIABILIDAD
3	SEGURIDAD
4	PRECIO
5	ESTÉTICA
6	SEÑALES OPERATIVAS
7	MATERIALES
8	ERGONOMÍA
9	TAMAÑO
10	PESO
11	TRANSPORTE
12	EMPAQUE
13	ALMACENAMIENTO
14	MANTENIMIENTO
15	INSTALACIÓN
16	PARTES ESTÁNDAR
17	DOCUMENTACIÓN
18	VIDA EN SERVICIO
19	ENTORNO
20	COMPETENCIA
21	TIEMPO EN EL MERCADO
22	LIMITACIONES DEL MERCADO
23	CANTIDAD
24	PRUEBAS
25	ASPECTOS LEGALES
26	POLÍTICAS DE LA EMPRESA
27	DESECHOS .

En la tabla 7 se muestran los elementos que el grupo define que le competen a la empresa y por lo tanto se dejan por fuera de la herramienta.

Tabla 7.
Elementos que no se consideran para la herramienta

1	PATENTES
2	LIMITACIONES DE LA COMPAÑÍA
3	FACILIDADES DE MANUFACTURA
4	PROCESOS DE MANUFACTURA
5	TIEMPO PARA DESARROLLAR EL PROYECTO
6	COSTO DEL PRODUCTO

Fuente: Elaborado por los estudiantes

Para el diseño de la nueva herramienta el grupo decidió que la comparación de elementos no debía hacerse de cada uno frente a los demás, sino de cada uno con relación a sí mismo; de esta manera se disminuía el tiempo y la facilidad de responder la encuesta. Una vez tomada esta decisión, el grupo entró a discutir los parámetros de calificación para cada elemento y se llegó a una propuesta que contiene cinco aspectos a calificar y a cada uno se le asignó un valor cualitativo así:

5: indispensable; **4:** importante; **3:** medianamente importante; **2:** poco importante y **1:** sin importancia.

Con estos calificadores se diseñó gráficamente el formato, tabla 8, buscando facilidad y comodidad para el usuario, y asegurando que no ocupara más de una hoja tamaño carta. En el formato se incluyeron elementos de información que debe llenar el encuestado, de manera que sirva para realizar estudios posteriores sobre estrato social, sexo, edad y tiempo de elaboración. Con relación a la edad, se estableció en el formulario como "rango" pues se vio que era mucho más fácil, en particular para el sexo femenino, el ubicarse dentro de un rango de edad que especificar la edad exacta.

Una vez diseñado el formato, el grupo definió que el segmento de población al cual se le aplicaría el formato eran mujeres amas de casa y se procedió a su realización.

Tabla 8.
Versión 1 de la herramienta

Identifique según las 5 opciones el grado de importancia que para usted tienen los siguientes elementos a la hora de comprar un producto.

Nombre: _____
Estrato: _____
Edad: _____
- 20-30
- 31-40
- 41-50
- 51 en adelante

	INDISPENSABLE	IMPORTANTE	MODERADAMENTE IMPORTANTE	POCO IMPORTANTE	SIN IMPORTANCIA
DESEMPEÑO	5	4	3	2	1
CALIDAD y CONFIABILIDAD	5	4	3	2	1
SEGURIDAD	5	4	3	2	1
PRECIO	5	4	3	2	1
ESTÉTICA	5	4	3	2	1
SEÑALES OPERATIVAS	5	4	3	2	1
MATERIALES	5	4	3	2	1
ERGONOMÍA	5	4	3	2	1
TAMAÑO	5	4	3	2	1
PESO	5	4	3	2	1
TRANSPORTE	5	4	3	2	1
EMPAQUE	5	4	3	2	1
ALMACENAMIENTO	5	4	3	2	1
MANTENIMIENTO	5	4	3	2	1
INSTALACIÓN	5	4	3	2	1
PARTES ESTÁNDAR	5	4	3	2	1
DOCUMENTACIÓN	5	4	3	2	1
VIDA EN SERVICIO	5	4	3	2	1
ENTORNO	5	4	3	2	1
COMPETENCIA	5	4	3	2	1
TIEMPO EN EL MERCADO	5	4	3	2	1
LIMITACIONES DEL MERCADO	5	4	3	2	1
CANTIDAD	5	4	3	2	1
PRUEBAS	5	4	3	2	1
ASPECTOS LEGALES	5	4	3	2	1
POLÍTICAS DE LA EMPRESA	5	4	3	2	1
DESECHOS	5	4	3	2	1

España reservado para el encuestador
Tiempo de ejecución de la encuesta: _____

Fuente: elaboración de los estudiantes

Aplicación y resultados de la nueva herramienta

Se encontró que elementos como: entorno, documentación, desechos, aspectos legales y políticas de la empresa, no eran de fácil comprensión para el encuestado, lo que significó una mayor explicación sobre ellos. Aquí fue evidente que la explicación de cada uno de los encuestadores, frente al elemento, no era la misma, lo que podría ocasionar sesgos en los resultados encontrados.

Sobre los criterios de evaluación se encontró que en algunos casos de mujeres del estrato 2, era difícil hacer una diferenciación entre los aspectos "indispensable" e "importante", pero realmente no representó mayores inconveniencias al resto de la población encuestada.

Con relación al tiempo de ejecución de la encuesta, el promedio (para las 47 realizadas) fue de 8,5 minutos. Este tiempo fue significativamente inferior al planteado al inicio del proyecto (máximo 25 minutos). Cabe anotar que algunos de los encuestados habían hecho la encuesta utilizando el formato de Huang, y encontraron mucho más fácil y pertinente el nuevo formato en relación con: el diseño gráfico, el tiempo de duración, el número de elementos y la manera de realización.

Tabulación e interpretación de resultados

Una vez tabulados los resultados de las 47 encuestas se observaron los siguientes resultados en general:

- Los cinco elementos más importantes para el segmento seleccionado fueron:
 - Calidad y confiabilidad
 - Seguridad
 - Desempeño
 - Vida en servicio
 - Tamaño

- Los cinco menos importantes fueron:
 - Peso
 - Almacenamiento
 - Tiempo en el mercado
 - Cantidad
 - Políticas de la empresa

Una vez tabulados los resultados de las 47 encuestas se observaron los siguientes resultados por estrato:

- Los elementos más importantes para el estrato 6 fueron:
 - Calidad y confiabilidad, seguridad y desempeño con un porcentaje de 75%
 - Estética, materiales, tamaño, instalación y tiempo en el mercado con 62,5%
- Los menos importantes:
 - Empaque, entorno, limitaciones del mercado, políticas de la empresa y desechos con 37,5%
- Los elementos más importantes para el estrato 5 fueron:
 - Calidad y confiabilidad con 82,35%
 - Seguridad y tamaño con 70,59%
 - Desempeño con 64,71%
- Los menos importantes:
 - Competencia, limitaciones del mercado, pruebas y aspectos legales con 29,41%
 - Transporte con 23,53%
- Los elementos más importantes para el estrato 4 fueron:
 - Calidad y confiabilidad, transporte, documentación y políticas de la empresa con 93,33%
 - Desempeño 66,67%
 - Seguridad 60%

- Los menos importantes:
 - Empaque, instalación, partes estándar, tiempo en el mercado, cantidad y pruebas con 33,33%
- Los elementos más importantes para el estrato 3 fueron:
 - Calidad y confiabilidad y empaque con 83,33%
 - Desempeño, seguridad, señales operativas, ergonomía, tamaño, documentación, vida en servicio, competencia, y limitaciones del mercado con 66,67%
- Los menos importantes:
 - Precio, materiales, transporte, instalación, partes estándar, tiempo en el mercado, cantidad, aspectos legales, políticas de la empresa y desechos con 33,33%

Una vez tabulados los resultados de las 47 encuestas se observaron los siguientes resultados por edad:

- Los elementos más importantes para el rango de edad entre 20 a 30 fueron:
 - Almacenamiento 85,71%%
 - Calidad y confiabilidad, estética, materiales, tamaño, peso, empaque y limitaciones del mercado con 71,43%
- Los menos importantes:
 - Transporte tiempo en el mercado y desechos con 28,57%
- Los elementos más importantes para el rango de edad entre 31 a 40 fueron:
 - Calidad y confiabilidad con 77,78%
 - Partes estándar 66,67%
- Los menos importantes:
 - Pruebas con 22,22%
- Los elementos más importantes para el rango de edad entre 41 a 50 fueron:
 - Calidad y confiabilidad con 85,71%
 - Seguridad 71,43%

- Desempeño y señales operativas con 64,29%
- Los menos importantes:
 - Empaque, instalación y tiempo en el mercado, cantidad y pruebas con 28,57%
- Los elementos más importantes para el **rango de edad de 51 en adelante** fueron:
 - Calidad y confiabilidad con 94,12%
 - Seguridad con 82,35%
 - Tamaño con 76,47%
 - Vida en servicio con 64,71%
- Los menos importantes:
 - Almacenamiento, tiempo en el mercado, limitaciones del mercado y desechos con 23,53%

Conclusiones y recomendaciones generales de la versión 1 de la herramienta

La aplicación de la herramienta disminuyó el tiempo a un promedio de 8,5 minutos superando lo propuesto inicialmente (máximo 25 minutos), mostrando así la eficiencia lograda por la encuesta en relación al tiempo.

El diseño del formato de la encuesta logró una excelente acogida por el segmento seleccionado, presentando una mayor claridad con respecto a los formatos anteriores, permitiendo así la rápida ejecución de ésta.

En el formato de la encuesta se le pide al encuestado seleccionar un rango en el cual se encuentra su edad, con lo cual encontramos una mejor aceptación por parte del género femenino.

Haciendo una comparación de las propuestas 1 y 2 con los arrojados por la nueva herramienta obtuvimos: una reducción significativa de tiempo, eficiencia por parte del encuestado a la hora de responder la encuesta, facilidad al momento de tabularla.

De acuerdo con los resultados, la calidad y confiabilidad, la seguridad y el desempeño se presentan como los elementos más importantes, tanto en los estudiantes que realizaron el estudio con la herramienta de Huang como las propuestas 1 y 2 y la nueva herramienta. Esto da una indicación clara a los profesionales que trabajan en el diseño y desarrollo de productos sobre la importancia de estos elementos. Los elementos de menor importancia sí presentan discrepancias en los trabajos realizados, el único elemento común es el empaque presente en el estudio actual y en el del profesor Huang.

Al concentrarse la encuesta en amas de casa de estratos 4, 5 y 6, el precio, un punto importante del PDS para la población colombiana, se vio relevado por puntos que generan un valor agregado al producto tales como calidad y confiabilidad, desempeño, estética, mantenimiento, documentación y pruebas. Lo que nos permite determinar que la importancia del precio de un producto se encuentra estrechamente ligada al estrato en que se encuentre el encuestado.

De acuerdo con los resultados arrojados por la nueva herramienta, empaque, desechos, políticas de la empresa, tiempo en el mercado y cantidad fueron los elementos que obtuvieron la menor calificación; este resultado le ofrece a los profesionales que trabajan en el diseño y desarrollo de productos una referencia clara que les permitirá enfatizar en otros elementos que arrojaron resultados más importantes y más relevantes para los encuestados.

Se puede reemplazar la semántica de algunos elementos para permitir al usuario una mejor comprensión de los mismos (por ejemplo: desechos se puede reemplazar por medio ambiente, y vida en servicio por duración) simplemente citando algunas referencias.

Sería conveniente para los resultados de la encuesta, que los encuestadores o el encuestado tengan un único formato donde se dé un breve significado de cada elemento para evitar así confusiones y posibles sesgos a la hora de obtener los resultados.

Se podría agregar un aspecto más a la información, de manera que el encuestado pueda relacionar los elementos con un tipo de productos

en particular como: electrodomésticos de hogar, mobiliario urbano, producto deportivo que requiere ejercicio físico, otros.

Estas recomendaciones permitieron el desarrollo de la versión final de la herramienta que se presenta en la tabla 9.

Tabla 9.
Versión final de la herramienta

Identifique según las 5 opciones el grado de importancia que para usted tienen los siguientes elementos a la hora de comprar un producto.

Electrodoméstico hogar
 Mobiliario urbano
 Producto deportivo que requiere ejercicio físico
 Otro

Nombre: _____
 Estrato: _____
 Edad: _____
 - 20-30
 - 31-40
 - 41-50
 - 51 en adelante

	INDISPENSABLE	IMPORTANTE	MODERADAMENTE IMPORTANTE	POCO IMPORTANTE	SIN IMPORTANCIA	
DESEMPEÑO	5	4	3	2	1	la manera como el producto cumple su función
CALIDAD Y CONFIABILIDAD	5	4	3	2	1	con relación a la fábrica del producto y las garantías
SEGURIDAD	5	4	3	2	1	en cuanto a riesgos que corra el usuario
PRECIO	5	4	3	2	1	en el momento de compra
ESTÉTICA	5	4	3	2	1	apariencia externa del producto
SEÑALES OPERATIVAS	5	4	3	2	1	la manera como el producto indica su funcionamiento
MATERIALES	5	4	3	2	1	de los cuales está hecho el producto
ERGONOMÍA	5	4	3	2	1	comodidad cuando se usa el producto
TAMAÑO	5	4	3	2	1	con relación al espacio que ocupa cuando usa el producto
PESO	5	4	3	2	1	con relación a la manipulación del producto
TRANSPORTE	5	4	3	2	1	con relación a la facilidad para transportarlo usted mismo
EMPAQUE	5	4	3	2	1	frente a: protección, información y elementos llamativos
ALMACENAMIENTO	5	4	3	2	1	facilidad para guardarlo
MANTENIMIENTO	5	4	3	2	1	para limpiarlo, arreglarlo o cambiarle piezas
INSTALACIÓN	5	4	3	2	1	en cuanto a facilidad de instalación
PARTES ESTÁNDAR	5	4	3	2	1	posibilidad de conseguir repuestos
DOCUMENTACIÓN	5	4	3	2	1	catálogos, manuales e instrucciones
VIDA EN SERVICIO	5	4	3	2	1	durabilidad del producto en el tiempo
ENTORNO	5	4	3	2	1	como afecta el producto el espacio en el que se va a usar
COMPETENCIA	5	4	3	2	1	efectos del producto para el medio ambiente
TIEMPO EN EL MERCADO	5	4	3	2	1	comparación con otros productos similares
LIMITACIONES DEL MERCADO	5	4	3	2	1	atención posventa de quien hace o vende el producto
CANTIDAD	5	4	3	2	1	con relación al respaldo que puede tener el producto
PRUEBAS	5	4	3	2	1	con relación a la exclusividad
ASPECTOS LEGALES	5	4	3	2	1	las que se hacen al producto antes de salir al mercado
POLÍTICAS DE LA EMPRESA	5	4	3	2	1	certificados de calidad, normas ISO, legales, ambientales, etc.
DESECHOS	5	4	3	2	1	actitud de la empresa en el medio en el que actúa
						reciclabilidad una vez el producto deje de cumplir su función

Espacio reservado para el encuestador
 Tiempo de ejecución de la encuesta: _____

Fuente: elaborado por los estudiantes

Conclusiones de la versión 2 de la herramienta

Al frente de cada elemento del PDS a evaluar se agregó una pequeña descripción del ítem, pensando que de esta manera puede resultar más fácil para el encuestado responder a las preguntas de una manera precisa y lograr resultados más confiables, ya que así se eliminan los sesgos que puede generar el encuestador cuando responde las dudas de los encuestados con respecto a cada uno de los elementos.

Los resultados obtenidos con la versión final de la herramienta no variaron mucho con respecto a los obtenidos con la versión 1 de la herramienta.

Se pensaba que el tiempo para responder el cuestionario iba a aumentar considerablemente, debido a la explicación adicionada al frente de cada uno de los elementos evaluados; sin embargo, se encontró que el aumento en el tiempo de las respuestas del cuestionario fue mínimo y que este cambio ayudó a que las personas encuestadas comprendieran mejor el significado de cada uno de los elementos y, de este modo, respondieran el cuestionario de una mejor manera.

El tiempo promedio de realización de la prueba fue de 9,2 minutos y aunque fue mayor que pruebas anteriores (8,5 minutos), arroja resultados más confiables, ya que se eliminan considerablemente los sesgos por parte del encuestador al no tener que responder las preguntas de los encuestados con respecto a las definiciones de los elementos, ya que ahora se presenta una definición al frente de cada uno de ellos.

La nueva herramienta mostró que los elementos más importantes con respecto a un electrodoméstico hogar fueron: desempeño, estética y calidad. Mientras que los aspectos menos importantes fueron: aspectos legales y medio ambiente.

Por otro lado, para el mobiliario urbano los elementos más importantes fueron: desempeño, seguridad y calidad, mientras los menos importantes fueron: cantidad, empaque y precio.

Aunque la diferencia entre las evaluaciones no es muy evidente, se puede notar un cambio en los elementos considerados según el tipo de producto a evaluar, esto significa que el nuevo aporte a la herramienta —de ubicar al usuario dentro de un grupo de productos— ayuda a definir los elementos más relevantes para el nuevo diseño.

Para un mejor enfoque a los elementos que se deben tener en cuenta en el diseño, se ha desarrollado una herramienta que puede ser ajustada a cualquier clase de producto, ya sea nuevo, ecológico, rediseño de un producto existente o alguno que hable sobre las capacidades de la empresa. Esta herramienta ayuda al diseñador a conocer cuáles son las características que más le preocupan al usuario en el producto, y de esta manera cubrir las necesidades que para él son más relevantes.

Esta herramienta no sólo puede ser aplicada al usuario, también puede ser implementada para evaluar las necesidades de la empresa y así poder definir las prioridades de la misma con el fin de hacer una mejor distribución de recursos en investigación e infraestructura.

Otra de las ventajas que presenta esta herramienta es que puede generar ahorro en el tiempo de desarrollo del producto, y ahorro en recursos y capital invertido.

El ahorro en el tiempo se expresa en una mejor planeación de la investigación ya que el diseñador tiene una idea más amplia sobre las necesidades latentes en los usuarios y de esta manera puede distribuir el tiempo dedicando una mayor parte a la solución de las necesidades más relevantes, y una menor parte a aspectos que no son tan importantes para el usuario, pero que sin embargo deben ser tenidos en cuenta.

Se puede dar un ahorro en el capital invertido, ya que al saber en qué aspectos se debe centrar el desarrollo del diseño, se puede hacer una mejor distribución de los recursos disponibles, y así cubrir los puntos más importantes del proyecto. Además, esto puede ayudar a que el producto sea exitoso al ser lanzado al mercado, y no recaiga en errores pasados o errores de la competencia, librando a la compañía de grandes pérdidas.

El conocimiento de la importancia de los elementos de diseño por parte de los usuarios, puede ayudar al departamento de mercadeo a encontrar una buena estrategia de ventas, por ejemplo resaltando los atributos del producto que tienen una mayor importancia para el usuario y destacando aspectos que lo diferencien de la competencia.

Bibliografía

Baxter, Mike, *Product Design*, Londres, Chapman & Hall, 1995.

Cross, Nigel, *Métodos de diseño*, México, Limusa/Wiley, 1999.

Hollins, B. y Hollins, G., *Over the Horizon: planning products today for succes tomorrow*, Chichester (UK), John Wiley & Sons, 1999.

Huang, Y. M., "On the General Evaluation of Customer Requirements During Conceptual Design", *Journal of Mechanical Design*, vol. 121, marzo 1999.

Pugh, Stuart, *Total Design*, Harlow (UK), Addison-Wesley Publishing Company, 1991.

Roozenburg, N.F.M.; J. Eekels, *Product Design: Fundamentals and Methods*, Chichester (UK), John Wiley & Sons, 1995.

Ulrich, Karl; Eppinger, Steven, *Product Design and Development*, s.l., McGraw-Hill, Inc., 1995

Autor: Jose Augusto Ocampo



Jose Augusto Ocampo 28

SELECCIÓN DE MATERIALES en el diseño e ingeniería

Luis Fernando Patiño Santa

Introducción

Este artículo es una fotografía en movimiento de lo que está sucediendo hoy en la selección de materiales, y clarifica conceptos básicos para abordarlo en el diseño de productos. La selección de materiales es un tema indispensable en el diseño de hoy. Cada vez que se lanza un producto al mercado, los factores de innovación radican en gran parte en los materiales y los procesos de manufactura empleados, el impacto que éstos tienen en su ciclo de vida y en la percepción del usuario final. Todas estas variables hacen que este tema merezca una atención especial.

La selección de materiales es inseparable del proceso de diseño

En el proceso de diseño, una de las variables que definen las características finales y los atributos que el producto tendrá, es la selección adecuada de los materiales y los procesos. Las tres etapas del modelo desarrollado para la línea de proyectos en Ingeniería de Diseño de Producto son: *la exploración, el desarrollo y la implementación*, figura 1. La selección de materiales puede ocurrir en cualquiera de las tres, no es lineal y sucede como un *feedback* que permite que el proceso creativo y el proceso racional se mezclen en la mente del ingeniero de diseño.

¿Quiénes necesitan saber seleccionar materiales hoy? Todos los que deseen diseñar y fabricar productos. El papel del ingeniero ha cambiado, en términos de que el desarrollo de nuevos materiales y procesos le posibilitan dar nuevas características de percepción, uso y personalidad al producto (Ashby, 2003), además de hacer que funcione correctamente. El material deberá tener una finalidad

en cualquier categoría, bien sea un producto electrónico, un electrodoméstico, una máquina o un insumo para la construcción.

Figura 1.
Metodología de diseño en Ingeniería de Diseño de Producto



Fuente: Jose Fernando Martínez

Si se diseña un nuevo material, éste se debe caracterizar en primera instancia, es decir, medir todas sus propiedades y establecer una hoja técnica con sus características, tanto técnicas como sensoriales. Luego, la labor siguiente es comercializarlo. Los diseñadores y los ingenieros lo podrán proponer en un producto con el fin de darle un *plus* que le permita ser recordado y deseado por la selección de ese material, de lo contrario el material y el producto serán olvidados. Los materiales deben pertenecer a los productos y éstos, a su vez, encontrarse con los usuarios para darles un significado. La función es uno de los objetivos de seleccionar un material pero no es el único. La personalidad y el uso entran a definir variables de selección de materiales, que antes no eran tenidas en cuenta en el proceso de diseño y que luego son determinantes como factor de compra para el usuario (Kesteren, 2008).

Ashby clasifica en su libro *Materials and Design* las dimensiones de los materiales: la dimensión técnica que comprende todos los aspectos medibles y cuantificables del material como son los atributos mecánicos – densidad, módulo elástico, temperatura de servicio, tenacidad a la fractura, porcentaje de elongación, dureza, entre otros, y los atributos físicos como la densidad, la capacidad aislante o la transparencia. La dimensión de uso comprende atributos como el manejo de la información y variables como la luz, la temperatura, el ruido, la antropometría y la biomecánica. Entre los atributos medioambientales se tienen en cuenta el ciclo de vida, evitar la obsolescencia programada y el uso cada vez mayor de los materiales inteligentes que ayuden a cuidar el medio ambiente (nanotecnología) con un uso eficiente de recursos. Los atributos estéticos están relacionados directamente con la experiencia de uso

del producto: cómo los materiales afectan los sentidos de la vista, el tacto, el oído y el olfato. Y por último, la dimensión personal se encarga de los atributos de asociación —por ejemplo: riqueza, lujo—, los atributos de percepción —cómo se percibe el producto barato, producido en masa o exclusivo—, y los atributos emocionales —si el material produce alegría, tristeza, asombro, etc.— Todos estos atributos son necesarios en cada una de las etapas del proceso de diseño y cada vez es más importante tenerlos en cuenta al inicio y no al final, permitiendo que los objetos respondan a los deseos y a las emociones, además de la función para la que van a ser diseñados.

No sólo se seleccionan materiales, también se seleccionan procesos

Los procesos de manufactura son fascinantes e inspiradores y los productos que nos rodean son el resultado de una delicada labor artesanal, o de una sofisticada tecnología que están en constante evolución.

(Thompson, 2007)

En la actualidad, los diferentes procesos de manufactura ofrecen al usuario la posibilidad de tener un producto hecho a mano o fabricado con los niveles más altos de automatización, que le otorgan aspectos sofisticados y futuristas. Hoy, vemos productos que pueden ser una mezcla de *high tech* con *hancraft* y no rivalizan, por el contrario, se complementan y le dan forma al mundo que nos rodea haciéndolo más estimulante, más diverso y ofreciendo nuevas experiencias a los usuarios. Productos como los de Droog Design, la compañía de diseño holandesa o de Edra, con sus piezas fabricadas a mano por los hermanos Campana, figura 2, se han vuelto ejemplos de que el diseño no es necesariamente tecnología, sino nuevas ideas, ideas inteligentes, simples y radicales que a veces son sólo transferencias de tecnologías entre categorías de productos.

A pesar de la importancia de los procesos, la mayoría de las publicaciones sobre selección de materiales, le dedican un capítulo a la selección de los procesos como un tema complementario, pero no de una importancia paralela, teniendo en cuenta que la selección de éste afecta la forma o la composición del material, y determina otros

aspectos que tienen ver con la sensibilidad que se despierta en el usuario final. No se pueden olvidar los siguientes aspectos:

El aspecto técnico de los procesos, donde se consideran variables como la velocidad de producción, las herramientas usadas, el lote económico, las consideraciones al procesar determinados materiales y cómo su composición o microestructura pueden ser afectadas (Pfeifer, 2009), y el aspecto de personalidad que tiene que ver más con el diseño y consiste en cómo se puede innovar con los procesos desde el punto de vista táctil, visual y espacial.

La selección del proceso de manufactura se deriva de ajustar la forma diseñada en la etapa de exploración y desarrollo a los procesos de manufactura de cada material que posibilitan ciertas formas. La clasificación de las formas en prismáticas, planas, huecas, macizas con estructura, o tridimensionales con pared delgada (Patiño, 2004), permitía seleccionar el proceso de acuerdo a la forma diseñada. (Thompson, 2007) clasifica la tecnologías de formado dependiendo de los materiales y trata las tecnologías de unión y de acabado como pasos posteriores para lograr un resultado final. (Lefteri, 2007) clasifica las tecnologías a partir de las formas, abordándolas a partir de cortar un sólido, formas planas, formas huecas y formas complejas. Lo que cada autor busca es que el ingeniero o el diseñador sea capaz de acceder más fácilmente a la información de los procesos de manufactura, y ajustar su idea a partir de un proceso que genere resultados diferentes en el diseño.

El aspecto de diseño de los procesos se puede abordar desde la expresión que éstos pueden generar a través de los métodos de forma, acabado o unión, (Ahsby, 2003). Los métodos de acabado comprenden los procesos de adición que agregan material en el producto o sustractivos que lo retiran. Ambos definen los aspectos finales del producto como el color, la textura, las impresiones que están relacionadas directamente con sus aspectos estéticos, su percepción y las asociaciones que el usuario distingue. En cuanto a los procesos de unión, sean térmicos o mecánicos, revelan la manera como los objetos están contruidos o la ocultan, expresando los avances tecnológicos y pueden dar la impresión de piezas monolíticas, que funcionan como un sistema integrado donde la suma de componentes responde a su función para un ciclo de vida

determinado. En general, estos procesos se seleccionan después de haber decidido los procesos de forma y se dan en la etapa final del proceso de diseño.

La selección del proceso está irremediabilmente alterada por el material que se vaya escogiendo durante el proceso de diseño y por la forma del producto que el diseñador tuvo inicialmente en su mente. Esta triada mencionada en varios textos de ingeniería sigue siendo válida hasta hoy. Los procesos se escogen dependiendo de la forma a realizar y cada material permite determinados procesos. Una aleación de aluminio podrá estamparse o embutirse, y un acero de alto carbono, será mejor maquinarlo. De igual modo, un termoestable es más fácil moldearlo por compresión o por métodos de proyección o vaciado, y un termoplástico será ideal extruirlo o inyectarlo. En conclusión, la forma sigue al proceso productivo (Patiño, 2005).

Figura 2.
Silla Favela



Autores: Luis Fernando Patiño y Humberto Campana.
Salone Internazionale del Mobile, Milán, 2008

El mito de la función: ¿Olvidarse de la estética, la percepción y la emoción?

Cuando se habla con los ingenieros que pertenecen a ramas diferentes del diseño, es bastante asombroso que algunos sólo se

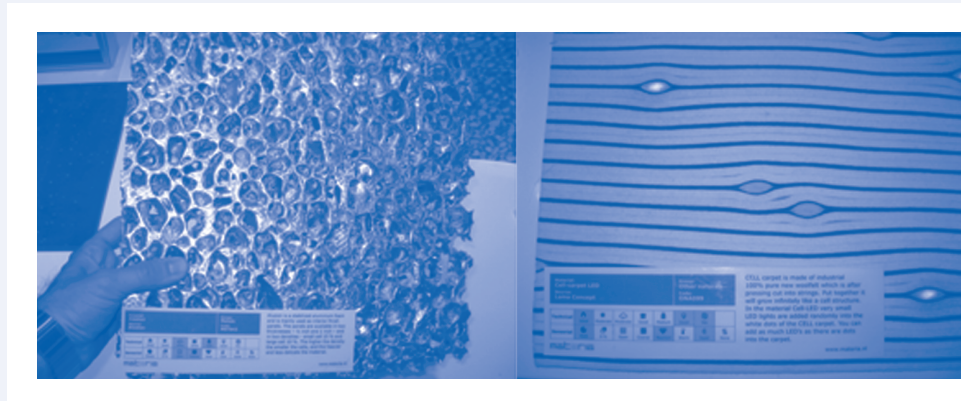
preocupen por la función de los materiales, de los artefactos o las máquinas, y piensen que los aspectos sensoriales son para personas creativas, diseñadores o arquitectos. Sin embargo, esos ingenieros se ven inconscientemente afectados por los atributos de los materiales, desde el punto de vista de percepción y de estética, cuando compran un nuevo automóvil, un celular o desean pasar sus vacaciones en un hotel de lujo. Garr Reynolds, el autor de *Presentationzen*, menciona al autor de *A Whole New Mind* quien expresa que vivimos en una era conceptual gobernada por el *High touch* y el *High concept*, explicando que el futuro pertenecerá a las personas que sean capaces de detectar caminos y oportunidades para crear una belleza artística y emocional, personas que empleen los dos hemisferios de su cerebro (Reynolds, 2008). Esto contradice a algunos ingenieros de materiales que piensan que desarrollar un material sólo es un asunto de laboratorio, y que las aplicaciones vendrán después; lo mismo que las personas que pueden usar ese material. Lastimosamente, la rueda de la historia los deja atrás, porque precisamente el pensar al inicio esas cualidades del material desde el punto de vista sensorial, hace que ese material exista en un número mayor de productos y que las personas lo puedan disfrutar. La paradoja radica en que deleitarse con un nuevo material es diferente a pensarlo, crearlo y divulgarlo, y esto implica hacer conexiones, pensar diferente, replantearse la labor, hacer nuevas preguntas. Revisando la historia, en la década de los ochenta había una gran preocupación porque los objetos funcionaran, cerca de treinta años después, la preocupación radica en seleccionar nuevos materiales para nuevos usos, nuevas experiencias, nuevas interfases. La sensorialidad que demanda el diseño, se logra a partir de la creación de materiales que respondan a estímulos físicos de otras maneras, y nuevas taxonomías han nacido y siguen apareciendo en el mundo del diseño y de la ingeniería.

Según (Brownell, 2006) la materialidad, figura 3, se puede clasificar en materiales de ultra desempeño, multidimensionales, inteligentes, interfaciales y transformacionales, entre otros. Esta división va más allá de lo que son los materiales y apunta hacia lo que hacen, un concepto que amplía el futuro del mundo material hacia los límites: hasta dónde y qué son capaces de hacer. El libro *Extreme Textiles* (Mc Quaid, 2005) categoriza las fibras como resistentes, veloces, ligeras, seguras e inteligentes y Nicola Stattman habla de materiales ultra

ligeros y súper resistentes, demostrando cómo la tecnología ha evolucionado para hacer mejores productos, y éstos, a su vez, han mejorado el entorno en el que vivimos (Stattman, 2003).

Figura 3.

Espuma Alusion y tejido Cell*



Fuente: Material Explorer, Den Bosch, Holanda, 2008

El ingeniero de hoy no puede ser ajeno a estos adelantos, debe tener una amplia visión y cultura tecnológicas, la división de polímeros, metales, cerámicos y compuestos está desbordada, se necesita un nuevo acercamiento que no es lineal o deductivo sino que apele al razonamiento inductivo, a revisar los productos, el diseño, las nuevas aplicaciones y por supuesto la ingeniería como herramienta. Un ejemplo de esto lo expone el libro *Nano Materials* (Leydecker, 2008), donde se ilustra cómo los nano-materiales afectan la arquitectura, el diseño de interiores y el diseño de productos. Estos autores son un estímulo para el ingeniero en formación revaluando su profesión y su hacer en un mundo saturado de información, de materiales y de productos.

Un material dado, un mundo de posibilidades; un material por seleccionar, un mundo de restricciones

La selección de un material siempre será una tarea ardua que exige conocimiento, habilidad para decidir, simplificar e identificar las

* Alusion es una espuma de aluminio muy ligera con 15% de celdas que presenta un buen aislamiento térmico, considerado hoy como un material de ultra desempeño, y Cell es un tejido con leds en su estructura, que cambia la percepción del usuario (interfacial).

variables más importantes que inciden en el mejor desarrollo de un producto.

Cuando un material está dado y no hay que seleccionarlo porque hace parte de un desarrollo tecnológico o es una nueva propuesta de sostenibilidad, el material se presenta con sus ventajas y sus propiedades, y sólo hay que buscar en dónde aplicarlo de manera apropiada. El diseñador puede buscar múltiples posibilidades para ese material y el desafío está en caracterizarlo, divulgarlo y hacer que los canales de información funcionen correctamente para que las personas conozcan sus atributos y lo seleccionen para sus productos. La caracterización no sólo contempla los aspectos técnicos y medioambientales sino también las características sensoriales, emocionales y de percepción asociadas a ese material. (Ashby, 2003). El material existe para el mundo del diseño, de la arquitectura y de la ingeniería en la medida de que sea “popular”, tenga una personalidad y aspectos que lo destaquen de otros. El *Litracon* inventado por Aron Losonczy, (Beylerian, 2005) le otorgó una cualidad memorable al concreto: la translucidez. Ése es su rasgo diferenciador y completamente innovador, es el atributo que le da validez.

En cambio, cuando se parte de un *brief* con una serie de restricciones para seleccionar materiales y procesos, la tarea se torna diferente. Un *brief* dado cierra el embudo de información, un mono-material abre las posibilidades y lo que se escoge no es el material sino las aplicaciones de éste.

Para un producto de muchos componentes, la selección del material y sus procesos asociados puede hacerse por varios métodos, donde ninguno es mejor que otro y no hay una receta. La receta la diseña cada uno de acuerdo a su experiencia, *background* y disponibilidad. A continuación, se mencionan los cuatro métodos más importantes para seleccionar un material y sus implicaciones en el proceso de diseño.

Los métodos de selección: recursividad + ingenio

Mike Ashby en su libro *Materials and Design* expone cuatro métodos para seleccionar materiales:

- Análisis
- Síntesis
- Semejanza
- Inspiración

Estos métodos deben usarse al inicio del proceso de diseño, durante y al final. Se pueden mezclar, no son para aplicarlos cuando ya el objeto está diseñado, deben acompañar el proceso de diseño. Seleccionar un material no es decorar una torta, es crear la receta, hacerla y servirla.

El proceso de análisis se ajusta muy bien para productos complejos, debido a que se parte del análisis de las características cuantitativas que se exigen en el producto y que traducen a propiedades del material en la etapa inicial del proceso de diseño: la exploración. Características como liviano se pueden convertir a valores de densidad; o resistencia a la abrasión en dureza. Cada deseo del cliente se vuelve una propiedad que se busca en los posibles materiales, y cada vez que se avanza en el proceso, el marco de posibilidades se reduce. Igualmente, la exploración formal que se da en la etapa de desarrollo, da pautas para seleccionar los procesos de manufactura adecuados para cada parte donde las variables, a analizar, pueden ser la velocidad de producción, el lote económico, las herramientas usadas o el espesor de pared y tolerancia mínimos.

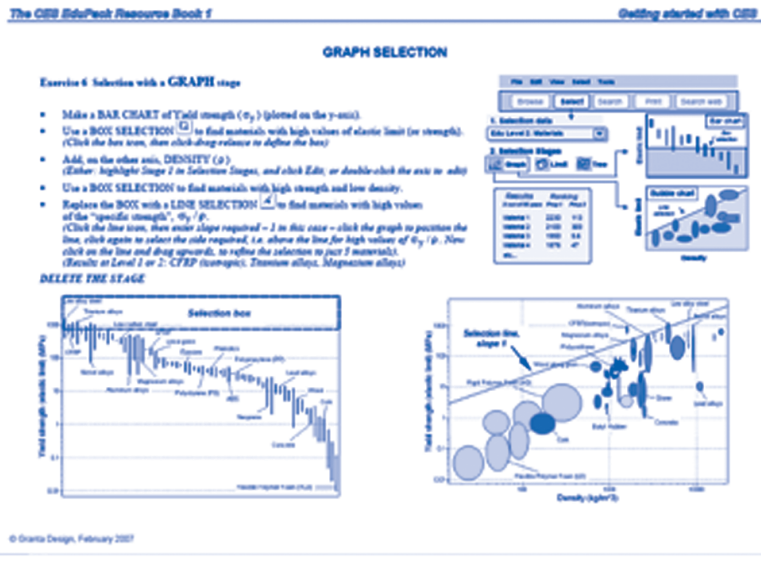
Una vez los datos están claros, existe una herramienta fundamental para agilizar el proceso: el software de selección. El CES Edupack, figura 4, de la Universidad de Cambridge permite que los datos ingresados al programa faciliten el método de selección y análisis. El software permite trabajar de varias maneras:

- Seleccionar por gráficos
- Seleccionar por límites
- Seleccionar por árboles
- Mezclar los tres anteriores

En el primero, los gráficos que construye el software relacionan dos propiedades, por ejemplo: módulo elástico y densidad, y aparecen registradas las familias de materiales en forma de burbujas que

muestran esa relación. Esta visualización facilita la selección porque muestra cómo los materiales están ubicados en relación a dos propiedades. También el programa construye gráficos de barras donde muestra máximos y mínimos de una propiedad en varios materiales.

Figura 4.
CES Edupack, 2007



Fuente: Tomado del archivo del PDF del Software CES Edupack, 2007

En los límites, figura 5, se entran valores máximos o mínimos de las propiedades que se buscan en el diseño y el resultado son posibles opciones de materiales.

El método de árboles, figura 6, muestra una clasificación de familia, clase, miembro y sub-miembro de los materiales, un concepto que ya había sido desarrollado por (Ashby, 2003). Este recorrido por las familias de los materiales permite llegar a una ficha técnica de un material y conocer todas sus propiedades. De igual manera, para los procesos la clasificación es por forma, unión o acabados superficiales, conduciendo también a explicaciones de cada proceso de manufactura.

Figura 5.
Límites

The CES EduPack Resource Book 1 Getting started with CES

SELECTION using a LIMIT STAGE

Exercise 6. Selection using a LIMIT stage

- Find materials with:
 - MAX. SERVICE TEMPERATURE > 200 °C
 - THERMAL CONDUCTIVITY > 25 W/m.k
 - ELECTRICAL CONDUCTOR = GOOD INSULATOR OR INSULATOR?

(Enter the limits – minimum or maximum as appropriate – and click "Apply")

(Results at Level 1 or 2: aluminum nitride, alumina, silicon nitride)

DELETE THE STAGE

Material	Ranking	Prop. 1	Prop. 2
Material 1	2230	113	
Material 2	2190	300	
Material 3	1940	6.6	
Material 4	1876	47	
etc...			

Fuente: Tomado del archivo del PDF del Software CES EduPack, 2007

Figura 6.
Método de árboles

The CES EduPack Resource Book 1 Getting started with CES

TREE SELECTION

Exercise 7. Selection with a TREE Stage

- Find MATERIALS that can be MOLDED
 - (In Tree Stage window, select Process: Universe, expand "Shaping" in the tree, select Molding, and click "Insert", then OK)*
- DELETE THE STAGE
- Find PROCESSES to join STEELS
 - (First change Selection Data to select Processes: select LEVEL 2, JOINING PROCESSES.)*
 - (Then, in Tree Stage window, select Material: Universe, expand "Metals and alloys" in the tree, select Ferrous, and click "Insert", then OK)*

DELETE THE STAGE

Fuente: Tomado del archivo del PDF del Software CES EduPack, 2007

La unión de todos estos métodos puede ayudar al diseñador o al ingeniero en su labor de selección. La importancia de analizar cada atributo sea mecánico o térmico, y conocer en profundidad cómo son estas propiedades en los materiales, hacen que los gráficos de burbujas y de barras tengan sentido. Un análisis de fatiga o rigidez

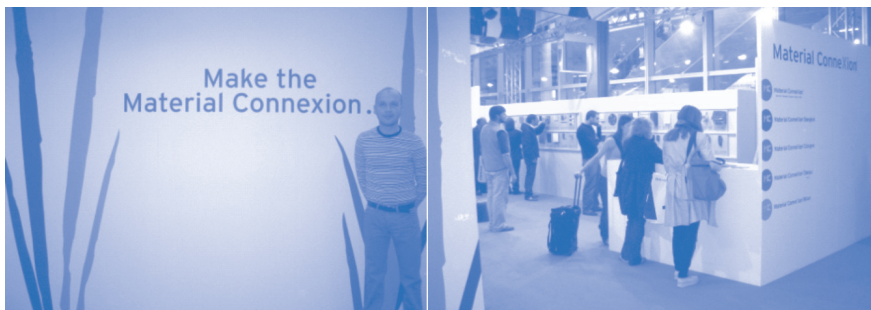
en un componente puede abordar conceptos de resistencia de materiales que vale la pena revisar (para mayor profundidad revisar Ashby, 2003).

En algunos casos no se dispone del software o los productos se ajustan a otros métodos de selección más intuitivos, es aquí donde aparecen los métodos de síntesis, semejanza o inspiración.

En la síntesis, se deduce de bases de datos de productos y sus características qué se puede aplicar al nuevo diseño. Aquí los ingenieros deben ser más observadores y tomar partido buscando cómo funcionan los productos similares. Una base de datos sobre productos, compañías o el trabajo de otros puede ser de gran ayuda al seleccionar.

En la semejanza, lo que se buscan son bases de datos de materiales y de procesos para hacer la selección, debido a que cumplen con las características demandadas en otras aplicaciones. El papel de las bibliotecas de materiales es fundamental en este método, porque la experiencia personal del material puede simplificar la labor de selección. Bibliotecas como Material Connexion, figura 7, han comprendido que lo físico está por encima de lo virtual en el momento de diseñar.

Figura 7.
Material Connexion



Autor: Luis fernando Patiño

Por último, la inspiración es hacer una transferencia tecnológica de un producto a otro a través del ingenio, la creatividad y las

conexiones que el diseñador haga de ese material en otro producto inusual. El impacto puede ser bastante alto en la medida en que se genera sorpresa al ver un material en una aplicación inusual. Aquí las ferias de diseño como el *Salone Internazionale del Mobile* en Milan, *100% Design en Rotterdam* o *Material Explorer* en Holanda, figura 8, son eventos primordiales para tener un bagaje cultural de diseño que permita al ingeniero aprovechar todos los recursos para la selección.

Figura 8.
100% Design en Rotterdam



Autor: Luis Fernando Patiño

Ashby recomienda mezclar los métodos y hacer *feedback* continuamente en el proceso de diseño, con el fin de enriquecer la selección con diferentes experiencias.

Sin embargo, el método de análisis es más adecuado para productos complejos y el de semejanza o inspiración es más adecuado para productos de mobiliario o decorativos donde la carga innovadora puede ser mayor. Esto se debe a que las restricciones, cuando son mayores, exigen métodos más rigurosos porque entran a considerarse factores como la seguridad, la comercialización, la producción en masa o el impacto ambiental del producto. El término complejo no se refiere solamente a que el producto tenga muchas partes o mecanismos, o que sea un tractor o un avión, se refiere a que las restricciones pueden ser opuestas entre sí y que no sea fácil deducir la selección.

Un caso donde se pueden combinar los cuatro métodos es el de escoger el material adecuado para la caja de un CD, y aparece en la

mayoría de libros de selección. El planteamiento es escoger una caja para proteger el CD, transparente, económica, producible en masa, y que tenga resistencia al impacto.

Si se aplica el análisis, probablemente el método arroje un policarbonato o un poliestireno de alto impacto como materiales que reemplacen el poliestireno frágil y convencional (ver gráficas en Ashby, 2003). Si se habla de síntesis, el cartón es el material que algunas compañías seleccionaron como *Putumayo Music*, figura 9, porque siendo lógicos ¿de qué están hechos la mayoría de los empaques? Sin embargo, la inspiración puede llegar de los empaques de espuma de poliestireno (icopor) para los aparatos electrónicos. El grupo Radiohead lanzó el CD *Computer OK*, con un empaque que hacía alusión directa a la caja que se usa para proteger las piezas de computadora. Este empaque volvió el CD una pieza de colección.

En el método de semejanza podríamos citar el *Torus Case* por Marc Newson donde se analizó el método de inyección para crear el empaque del CD de un color que era complementario a los productos hechos para la empresa Ford de automóviles, en ese momento (ver estos ejemplos en empaque experimental de *Daniel Mason*). Cada caso fue diferente por la manera como el diseñador seleccionó el material y las variables que tuvo en cuenta. Cada empaque tiene su personalidad y llega al usuario de manera diferente, pero todos cumplen con la función primordial, proteger el CD.

Figura 9.

CD. *Putumayo Music* en cartón impreso y fundamental de los Pet Shop Boys en poliestireno de alto impacto



Fuente:

Conclusiones

La selección de materiales está íntimamente relacionada con el proceso de diseño y hace parte de la labor del ingeniero de hoy. Éste puede usar su experiencia, los software, las ferias de diseño. La selección necesita retroalimentación en cada etapa del proceso de diseño, sin olvidar que el software no es nada sin cultura tecnológica. Es simplemente una herramienta que acerca a la selección de una manera más ordenada y simple. Es importante que el profesional que diseña materiales sea consciente del papel que éstos desempeñan en los productos, y de otro lado el diseñador debe enfrentar la labor de selección de manera más diligente utilizando todos los recursos disponibles que tiene a mano, acercándose desde el producto hacia las propiedades del material diferente a como lo ha abordado la ciencia: de la microestructura al producto.

Bibliografía

Ashby, Mike; Kara Jhonson, *Materials and Design*, Oxford, Butterworth Heinemann, 2003.

Beylerian, George, *Ultramateriales*, s.l., Blume, 2008.

Beylerian, George, *Material Connexion. The Global Resource of New Materials and Innovative Materials for Architects, Artist and Designers*, Londres, Thames y Hudson, 2005.

Brownell, Blaine, *Transmaterial. A Catalog of Materials that Redefine our Physical Environment*, Nueva York, Princeton Architectural Press, 2006.

Kesteren, Ilse, *Selecting materials in product design*, Delft, Tudelft University, 2008, p. 239.

Lefteri, Chris, *Making it. Manufacturing Techniques for products design*, Londres, Laurence king Publishing Ltda., 2007.

Leydecker, Sylvia. *Nano materials in Architecture, Interior Architecture and design*, Basel, Birkhäuser Verlag AG, 2008, p. 192.

Mc Quaid, Matilda, *Extreme textiles. Designing for high performance*, Nueva York, Smithsonian, 2005, p. 222.

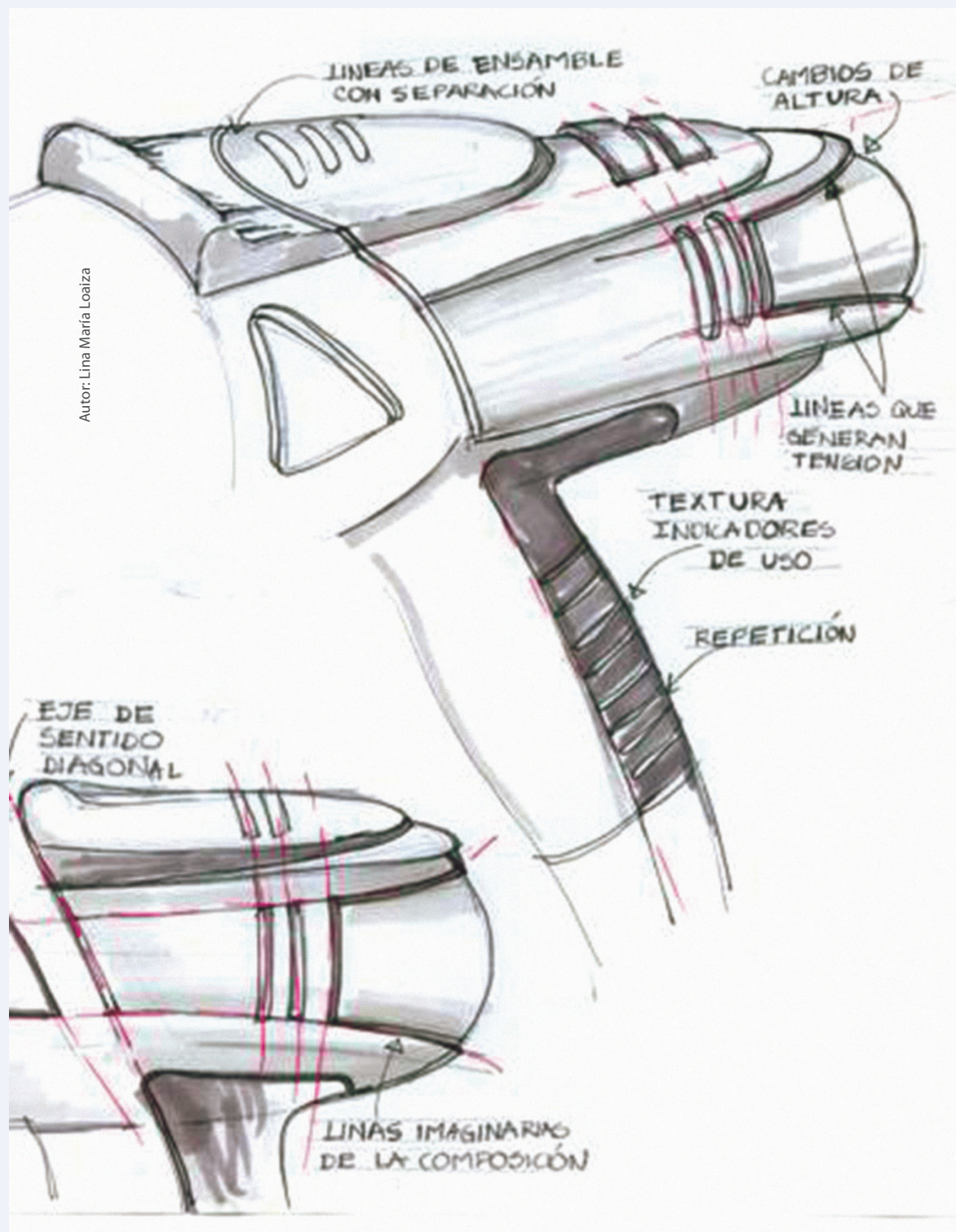
Patiño Santa, Luis Fernando, *Metodología para el diseño de piezas plásticas de uso doméstico*, Medellín, Editorial U.P.B., 2004, p. 145.

Pfeifer, Michael, *Materials enabled designs. The materials engineering perspective to product design and manufacturing*, Butterworth Heinemann, 2009, p.306.

Reynolds, Garr, *Presentation Zen*, Berkeley, New Riders, 2008, p. 229.

Stattmann, Nicola, *Ultra light , Super strong*, Alemania, Birkhauser, 2003, p. 56.

Thompson, Rob, *Manufacturing processes for design professionals*, Londres, Thames y Husdon, 2007, p. 528.



ESPUMAS POLIMÉRICAS, un ejemplo en diseño de materiales

Mónica Álvarez Láinez

Las espumas poliméricas son materiales que han sido creados con para poseer una amplia gama de propiedades, siendo materiales capaces de absorber energía, ya sea térmica —como aislantes térmicos—, mecánica —como amortiguadores de impacto o fuerzas— o acústica —como absorbentes acústicos—.

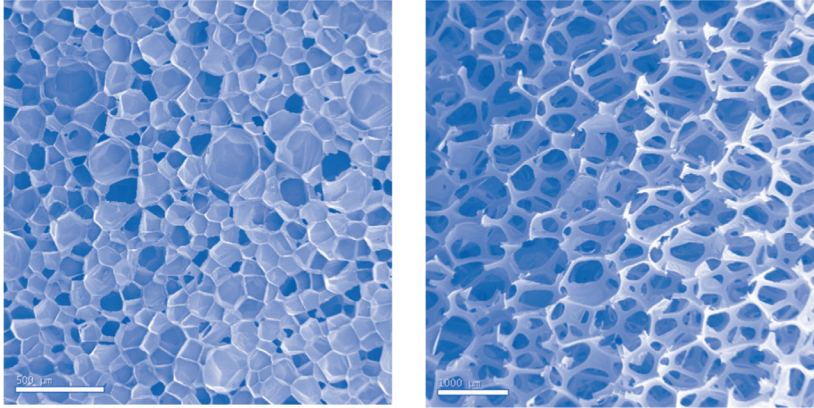
Estos materiales forman una sorprendente familia de materiales, tanto desde el punto de vista industrial interesado en sus posibles aplicaciones, como desde el académico que busca correlaciones entre sus propiedades eléctricas, acústicas, mecánicas, etc., y el modo en que éstas dependen de la composición y estructura microscópica. Es decir, este tipo de materiales hace parte de lo que se conoce como “materiales a la carta”, ya que dependiendo de los requerimientos del mercado se puede fabricar un determinado tipo de espuma (Álvarez Láinez, 2007).

Un material celular o espuma está formado por una red interconectada de aristas y paredes que forman un conjunto de celdas, figura 1, las cuales contienen en su interior una fase generalmente gaseosa (Gibson y Ashby, 1998). La fase sólida que forma el material celular o espuma puede ser un metal, una cerámica o un polímero, en este caso nos ocuparemos, únicamente, de las espumas de base polímero.

La microestructura de estos materiales, en buena parte responsable del comportamiento de los mismos, es como una fina obra de orfebrería, formada por innumerables celdillas, compuestas, a su vez, por pequeñas columnas de tan sólo unas micras de longitud, que en las espumas de celda cerrada están unidas por unas delicadas láminas de polímero base, que constituyen las caras, y en las espumas de celda abierta, dichas láminas o caras, dejan de existir. Las espumas poliméricas se clasifican habitualmente atendiendo a dos criterios, el primero de ellos es el de la composición de la matriz, ya sea de

poliolefina (polietilenos o polipropilenos), de poliuretano y de PVC entre otras, y el segundo, el del tipo de celda, abierta o cerrada (Álvarez Lainez, 2007).

Figura 1.
Conjunto de celdas*



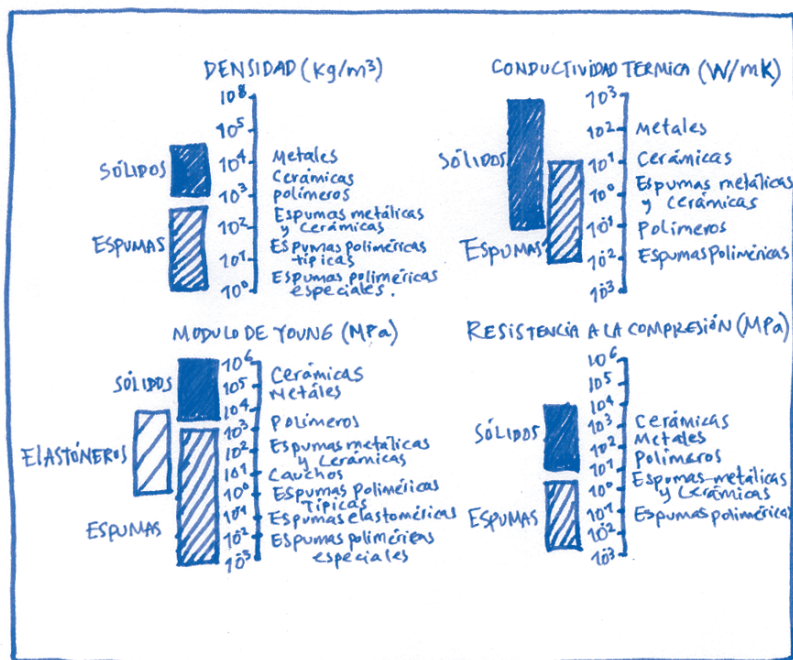
Autor: Mónica Álvarez Láinez (2007)

Un material celular o espuma se caracteriza por presentar una densidad menor que la de su material base, siendo su densidad relativa (ρ_f/ρ_s , densidad de la espuma dividida entre la densidad del polímero base) la característica estructural más relevante. Estos materiales extienden notablemente las propiedades físicas de los materiales sólidos de partida como se puede observar en la figura 2, en la cual se encuentran representadas cuatro de las principales propiedades físicas de interés dentro de las aplicaciones finales de estos materiales. La baja conductividad térmica que exhiben las hace idóneas para aplicaciones de aislamiento térmico. La baja rigidez o módulo de elasticidad que presenta respecto del polímero de partida, hace que estos materiales sean muy deseados en aplicaciones de amortiguamiento y acolchado. Muestran, además, una baja resistencia a la compresión por lo que son muy utilizadas en aplicaciones donde se requiere una absorción de energía mecánica (Gibson y Ashby, 1998). La combinación de bajo peso específico y el

* Izquierda: espuma de polietileno de celda cerrada, celdas con paredes y aristas, derecha: espuma de poliuretano de celdas abiertas, celdas con aristas y huecos (Álvarez Lainez, 2007)

amplio intervalo de valores de propiedades físicas que presentan, hacen a estos materiales aptos para el rediseño de múltiples aplicaciones, hecho que contribuye a un marcado aumento de sus aplicaciones en diferentes sectores industriales.

Figura 2.
Valores de diversas propiedades físicas comparadas entre los sólidos continuos y estos mismos en estado celular.



Fuente: Adaptado de (Gibson y Ashby, 1998)

Europa presenta en la actualidad un consumo superior a las 3.600 kt de espumas poliméricas. En el año 2004, el consumo en espumas de poliuretano era el 65% del mercado, el 24% del mercado era para las espumas de poliestireno expandido y el 2% del consumo era para los materiales espumados químicamente ("Blowing Agents and Foaming Processes", 2006). Sin embargo, se estima que en el 2010 el crecimiento anual de la demanda de estas últimas espumas sea mayor al que representan los otros tipos de materiales (Business communications company, 2004). La principal aplicación para las espumas de celda cerrada es como embalajes, esto se debe

a su bajo peso y a su alta capacidad de absorción de energía mecánica, actuando como amortiguadora de un esfuerzo por compresión o por impacto, y también como absorbente de vibraciones. Debido al tipo de polímero utilizado, se pueden obtener ventajas como lograr espumas de diferentes colores con baja capacidad para absorber agua, de fácil limpieza y secado, lo que las hace aptas para todas las aplicaciones referidas a implementos deportivos como zapatillas de deporte, cascos protectores, etc. También son utilizadas en el sector de la construcción, porque las espumas de celda cerrada sirven como aislamiento térmico y las de celda abierta sirven para absorción acústica, formando parte de una estructura tipo sandwich. Además de esto, las espumas de celda abierta son muy utilizadas en los asientos de los vehículos, en acolchados y en muebles. Existen otros sectores de aplicación de las espumas poliméricas como son el automotriz, el de la salud y donde se requieran condiciones de confort.

En la tabla 1, se resumen los principales campos de aplicación de las espumas poliméricas y su porcentaje de participación en éstos.

Tabla 1. Principales sectores de aplicación de las espumas poliméricas

SECTORES DE APLICACIÓN DE LAS ESPUMAS POLIMÉRICAS	
Construcción y embalaje	33%
Automoción	26%
Adhesivos	17%
Artículos de consumo	6%
Otros	9%

Fuentes: (Mills, N., 2003; Ruiz-Herrero, J., 2004; Rodríguez-Pérez, M., 2005)

Las espumas poliméricas se han convertido en ítems con una dinámica importante para la economía del siglo XXI, debido a su importancia técnica, comercial y ambiental. En la actualidad, la industria de espumas poliméricas en Estados Unidos es el 10% del consumo total de resinas tipo *commodity*.

El proceso de fabricación de las espumas poliméricas hace parte importante del diseño de la misma, ya que las diferencias en la

estructura celular tienen una consecuencia significativa en las propiedades finales. Hoy en día, muchas de las investigaciones en esta área se centran básicamente en crear nuevos materiales para ser espumados a partir de nuevas mezclas o incorporando nanorefuerzos, además de modificar o implementar nuevos procesos para la fabricación. Por lo tanto, las espumas poliméricas constituyen un ejemplo de cómo los materiales convencionales, polietilenos o polipropilenos, pueden ser modificados para ofrecer al mercado un nuevo material con el cual se pueden rediseñar productos o fabricar otros nuevos.

Bibliografía

Álvarez Láinez, M., "Propiedades térmicas, mecánicas y acústicas de espumas de poliolefina de celda abierta", Tesis doctoral, Universidad de Valladolid, 2007.

Blowing Agents and Foaming Processes 2006, The 8th International Conference, Munich, Rapra Technology, mayo 2006.

Business Communications Company, RP-120X Polymeric Foams- updated edition, Norwalk, 2004.

Gibson L.; M. Ashby, *Cellular Solids: Structure and Properties*, Oxford, Pergamon Press, 1998.

Autor: Jose Augusto Ocampo



DISEÑO INTERACTIVO

Alejandro Velásquez López

La interacción como fundamento del diseño para la emoción

¿Qué es emoción?

De acuerdo con el diccionario de la Real Academia Española (RAE) la palabra emoción significa: “Interés expectante con que se participa en algo que está ocurriendo”.

“Alteración del ánimo intensa y pasajera, agradable o penosa, que va acompañada de cierta conmoción somática”.

Para el contexto del presente libro, emoción es la actitud asumida por una persona con respecto a un producto, y tiene un carácter psicológico y fisiológico. En el aspecto psicológico hay un cambio en la jerarquía de las prioridades de una persona, mientras fisiológicamente se presentan diferentes respuestas de los sistemas, músculos y órganos, que tienen influencias culturales con características específicas de una población.

Para ilustrar mejor estos conceptos, la tabla 1 muestra aspectos psicológicos y fisiológicos de ciertas emociones.

Y ¿cómo se genera una emoción?, para ello vale la pena mirar un ejemplo del caso opuesto, es decir, cómo no generar ninguna emoción. Haga de cuenta que se encuentra en el interior de un cajón flotando en un gel con la misma densidad del cuerpo humano, totalmente inodoro, aislado acústicamente y al cual no entra la luz. Seguramente ninguno de sus órganos sensoriales será estimulado, lo que haría de este cajón la antítesis del diseño para la emoción, la cual está completamente ligada con la manera como interactúan los sistemas técnicos con nuestros sentidos.

Tabla 1.
Aspectos psicofisiológicos de ciertas emociones

EMOCIÓN	ASPECTOS PSICOLÓGICOS	ASPECTOS FISIOLÓGICOS
Alegría	<ul style="list-style-type: none"> • Bienestar • Ganas de seguir en ese estado y momento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Movimiento de músculos faciales y corporales.
Inseguridad	<ul style="list-style-type: none"> • Ganas de cambiar • Sensación de impotencia 	<ul style="list-style-type: none"> • Pocas expresiones corporales
Miedo	<ul style="list-style-type: none"> • Sentimiento de ansiedad • Ganas de salir corriendo 	<ul style="list-style-type: none"> • Sudor en las manos • Temblor en el cuerpo • Aceleración del ritmo cardíaco • Gritos de alta intensidad.

Autor: Alejandro Velásquez

Todo sistema técnico interactúa de alguna manera, no sólo con el usuario sino con el entorno y demás artefactos, por lo cual es importante distinguir cada uno de ellos. Y para lograr una adecuada interacción es relevante conocer los límites de las entidades involucradas. De lo contrario, se estarían generando emociones totalmente diferentes a las deseadas y con las siguientes consecuencias:

- Sobrepasar los límites de los sensores humanos puede conllevar daño irreparable de cualquier órgano o sentido.
- Sobrepasar los límites de los demás sistemas técnicos puede conllevar daño irreparable de cualquier componente.

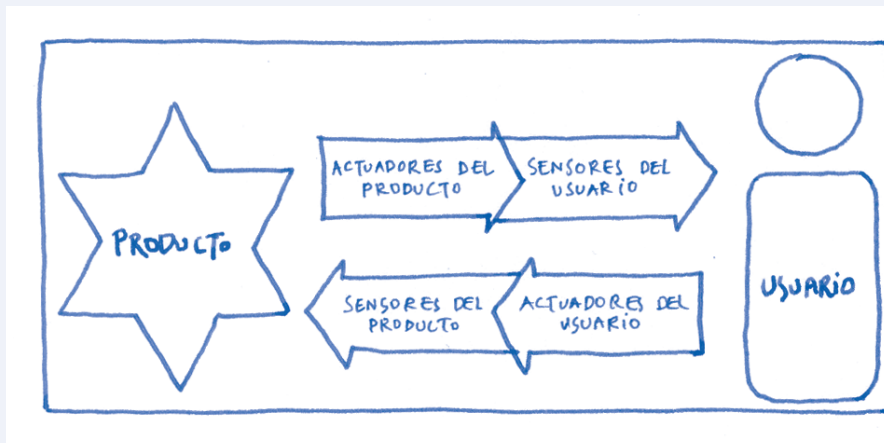
Todo sistema técnico interactúa de alguna manera, no sólo con el usuario sino con el entorno y demás artefactos, por lo cual es importante distinguir cada uno de ellos. Y para lograr una adecuada interacción es relevante conocer los límites de las entidades involucradas. De lo contrario se estarían generando emociones totalmente diferentes a las deseadas y con las siguientes consecuencias:

- Sobrepasar los límites de los sensores humanos puede conllevar daño irreparable de cualquier órgano o sentido.
- Sobrepasar los límites de los demás sistemas técnicos puede conllevar daño irreparable de cualquier componente.

Interacción sistema técnico – usuario

La primera interacción a evaluar, figura 1, es la que se realiza con el usuario, la cual es la encargada de generar las principales emociones en éste.

Figura 1.
Interacción entre sistema técnico y su usuario



Autor: Alejandro Velásquez

La interacción puede ser unilateral o bilateral, en ambos casos se debe tener en cuenta que los actuadores de una entidad generen una reacción en los sensores de la otra entidad, ya que de lo contrario no estarían generando su función de manera efectiva. Por ejemplo, no se recomienda:

- Un videojuego portátil con un sensor de inclinación con una velocidad de respuesta mayor a los 20 milisegundos, cuando la mayor respuesta de las manos humanas es de 30 milisegundos.
- Un computador con un monitor con una frecuencia de muestreo superior a los 75 Hz, cuando la máxima frecuencia reconocible por los seres humanos es de 72 fps.²

Para interactuar con los seres humanos se tienen cinco órganos sensoriales que son el tacto, gusto, oído, visión y olfato. Los sentidos

2 Iniciales de la traducción al inglés de "Pantallas por segundo" (Frames per Second).

representan nuestros sensores, que a su vez traducen diferentes variables físicas en señales eléctricas, por medio de los nervios sensoriales, hasta llevarlas al cerebro.

Así mismo, el cerebro envía señales a través de los nervios motores a los órganos efectores que llegan a los músculos y se encargan de generar los movimientos de brazo, piernas, expresiones fáciles, voz, etc. De esta manera, una adecuada interacción entre un sistema técnico y un usuario humano está ligada a un buen conocimiento de la fisiología humana.

Definición de sensor

Todo dispositivo capaz de traducir (transductor) una variable física en una señal eléctrica se denomina sensor.

También existen transductores de variables físicas en señales neumáticas, hidráulicas o mecánicas; no obstante las razones por las que las señales eléctricas son las más empleadas se resumen en:

- Su alta disponibilidad ya que la energía eléctrica es la más implementada a nivel mundial.
- Es más fácil de transportar.
- Son más eficientes.
- Son más gestionables.
- Por último, quizás por la analogía con las señales eléctricas de nuestro sistema nervioso.

Interacción sistema técnico – entorno

Así como los sistemas técnicos interactúan con el usuario, de igual manera lo hacen con su entorno, figura 2, a través de actuadores, y como retroalimentación con sensores capaces de traducir casi cualquier variable física en una variable eléctrica.

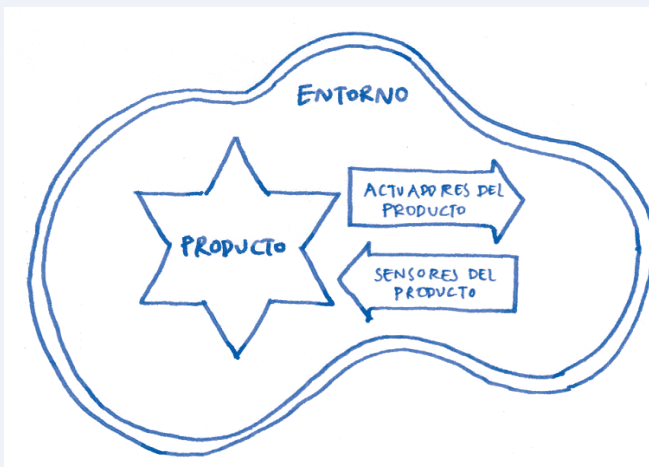
El entorno de un sistema técnico es todo aquello sobre lo que éste no tiene ningún efecto considerable y por lo tanto no tiene control, razón por la cual no se especifica en la figura 2. Así mismo, es todo lo que puede influir de manera considerable en el sistema técnico y

por lo que amerita tener información, permanentemente, a través de sensores.

Para un mejor entendimiento del entorno se ilustrará mediante el siguiente ejemplo en el que se tiene un vehículo en movimiento por una carretera:

- El entorno es la carretera y el aire que rodea al vehículo.
- A través de las llantas interactúa con la carretera, de lo cual se deriva un efecto de movimiento en el vehículo, y ninguno en la vía,³ no obstante un defecto en ésta tendría consecuencias negativas en el vehículo.
- A través de la carrocería interactúa con el aire, de la cual se procura un efecto aerodinámico y de protección de los pasajeros, pero ninguno sobre el aire; no obstante, una tormenta podría intervenir en el desempeño del vehículo.
- En la medida en que se van incrementando las condiciones —por ejemplo si se sabe la luminosidad—, al implementar un sensor de lúmenes se podrán encender automáticamente las luces del carro, o una cámara de luz infrarroja que le permita al conductor ver mejor la carretera.

Figura 2.
Interacción entre un sistema técnico y su entorno



Autor: Alejandro Velásquez

3 El desgaste de la carretera en el tiempo se puede despreciar en este caso.

Así, se demuestra la necesidad de implementar sensores de las condiciones del entorno, tan importantes como la velocidad del aire, la temperatura, humedad o si está lloviendo o no. De igual forma, saber las condiciones de la carretera es de gran valor como se puede evidenciar al emplear herramientas de posicionamiento global.

Emociones derivadas de la interacción sistema técnico – entorno

A través de la interacción del sistema técnico con el entorno se pueden despertar diferentes emociones de forma indirecta sobre el usuario.

La más importante es la seguridad, ya que el usuario estará confiado de que alguien más está haciendo el trabajo por él, en este caso el sistema técnico.

Así como la seguridad, se pueden generar emociones de alarma que igualmente tienen consecuencias positivas sobre el usuario al evitar accidentes.

Otra emoción a despertar en el usuario sería la de “tener los mejores ‘juguetes’” o “contar con la mejor tecnología” al tener a la mano instrumentos que le hacen sentir bien y conforme con su estilo de vida.

Interacción sistema técnico – sistema técnico

La interacción entre sistemas técnicos, figura 3, puede hacerse de dos maneras:

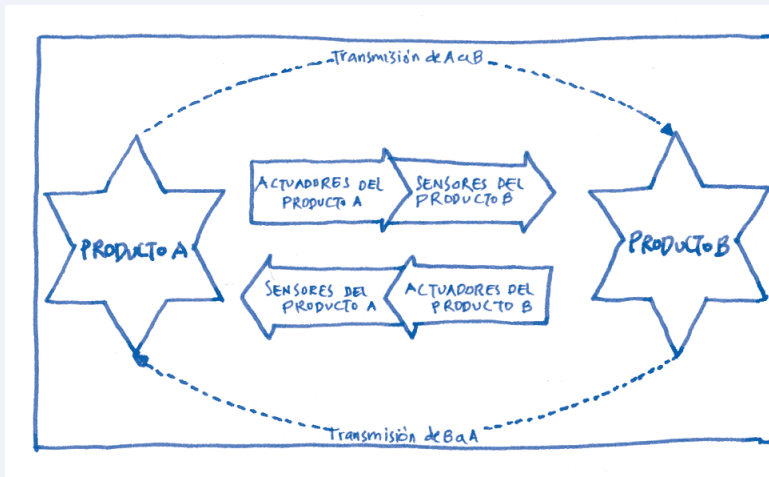
- Sensores y actuadores.
- Protocolos de comunicación.

Algunos ejemplos de estas interacciones son:

- La comunicación entre robots de una planta de ensamble de manufactura de automóviles para evitar colisiones y sincronizar su participación secuencial.

- La comunicación entre la transmisión mecánica de un automóvil y el motor de combustión para determinar en qué momento debe realizarse el cambio automático en la transmisión de acuerdo con las revoluciones que tenga el motor.
- La comunicación entre dos teléfonos celulares para intercambiar datos.

Figura 3.
Interacción entre sistemas técnicos



Autor: Alejandro Velásquez

Protocolos de comunicación

Así como los seres humanos se pueden comunicar cuando hablan el mismo idioma, los sistemas técnicos se pueden comunicar entre sí, al emplear los mismos protocolos de comunicación.

Una primera clasificación se puede hacer por la manera física en que ésta ocurre:

Alámbrica: la primera comunicación alámbrica entre dos sistemas técnicos se realizó a través del invento del teléfono a finales del siglo XIX.

Fueron las primeras interfaces en desarrollarse a medida que se fortaleció la ingeniería electrónica e informática en el siglo XX.

Algunos ejemplos de la comunicación alámbrica son:

- El cable de comunicación entre una impresora y un computador. Sin embargo, no basta con tener el cable físico sino que ambos componentes “conversen” en el mismo idioma.
- El cable de comunicación entre un modem y un computador.

Así entonces, se elaboraron protocolos de comunicación serial para los cuales se han creado, de hecho, fundaciones a partir de conglomerados tecnológicos para garantizar que sus productos sean compatibles entre sí, tales como el USB.⁴

Inalámbrica: la primera comunicación inalámbrica entre dos sistemas técnicos se realizó a través del invento de la radio a inicios del siglo XX, luego de que las ondas electromagnéticas fueran investigadas por James Clerk Maxwell.

A finales de la década de los setenta e inicios de los ochenta se implementaron los mandos a distancia o controles remotos para manipular electrodomésticos.

En la década de los noventa fuimos testigos de la comunicación inalámbrica entre dos calculadoras Hewlett Packard a través del puerto infrarrojo. Hoy en día, las comunicaciones son innumerables y se realizan principalmente a través de tecnologías de ondas de radio y comunicación celular, a través de protocolos como Bluetooth y WIFI.

Limitaciones en la interacción

Como se vió en el punto anterior, los límites de los sensores definen el rango de operación de los actuadores.

En el caso de los seres humanos, tanto los sensores como los actuadores están definidos por los rasgos antropométricos. Por lo tanto, los actuadores de los sistemas técnicos están limitados en la interacción con un usuario humano por las capacidades de los sentidos de éste. Igualmente, los sensores de un sistema técnico deben estar limitados en la interacción con un usuario humano por las capacidades de sus actuadores tales como la voz, las extremidades, músculos, etc.

4 Iniciales de la traducción al inglés de “Bus Universal Serial” (Universal Serial Bus).

Por ejemplo, no vale la pena tener:

- Un sensor de fuerza hasta 10.000N cuando el límite de la fuerza humana es de 1.000N.
- Un acelerómetro de más de 10 aceleraciones g.
- Un parlante emisor de ruido superior a los 130dB (20Pa) por encima de los cuales ya hay daño en el oído humano.
- Una luz de rayos infrarrojos, los cuales son detectables por las serpientes más no por los humanos.
- Unos microactuadores para reconocimiento por Braille⁵ con un distanciamiento menor a los 2mm, lo cual es el límite en la punta de los dedos (Velásquez, 2008).

Generalmente se dice que tenemos cinco sentidos: vista, oído, olfato, gusto y tacto. En realidad, tenemos más de cinco, pero incluso los expertos no están de acuerdo en cómo deberían trazarse las fronteras entre las diversas categorías de todos ellos (Carlson, 1999).

Como se observa en la tabla 2, en realidad nuestros sentidos nos permiten identificar un número mayor de variables físicas.

Tabla 2.

Algunas variables detectadas por los órganos sensoriales humanos

VARIABLE	TACTO	OLFATO	VISION	GUSTO	OIDO
Aceleración			✓		✓
Altura	✓		✓		
Calor	✓				
Color			✓		
Fuerza	✓				✓
Humedad	✓	✓		✓	
Impacto	✓		✓		✓
Inclinación	✓		✓		✓
Luminosidad			✓		
Posición	✓		✓		✓
Presión	✓				✓
Rugosidad	✓		✓		✓
Ruido					✓
Sabor		✓		✓	
Temperatura	✓	✓			
Velocidad	✓		✓		

Autor: Alejandro Velásquez

5 Luis Braille, inventor francés del conjunto de signos para facilitar la lectura y escritura de los invidentes.

Aparentemente, de acuerdo con esta tabla, el gusto y el olfato son poco utilizados, lo cual no es cierto debido a que estos órganos tienen su mayor utilidad en el campo de la biología y de la química.

Son precisamente estos campos de los que se esperan los mayores avances tecnológicos en el siglo XXI. Por su parte, la física y las matemáticas lo fueron en el siglo XX, lo cual se puede evidenciar hoy en día a nivel tecnológico en la cantidad de sensores disponibles para medir las variables asociadas con el tacto, la visión y el oído en la tabla anterior.

Límites de los seres vivos

Límites del ser humano

Visión: el ojo humano sólo puede ver cierto espacio del espectro electromagnético, tabla 3, el denominado rango visible dentro del que se encuentran las ondas con una longitud de onda entre los 700nm y 400nm; es decir, entre la luz roja y la luz violeta respectivamente. Esto nos hace incapaces de ver la luz ultravioleta, los rayos X, los rayos gamma, etc.

Tabla 3.
Espectro electromagnético

Tipo de Onda	Radio	Micro-ondas	Infrarrojo	Visible	Ultravioleta	Rayos X	Rayos Gamma
Longitud de onda [m]	10^3	10^{-2}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-8}	10^{-10}	10^{-12}
Frecuencia [Hz]	10^4	10^8	10^{12}	10^{15}	10^{16}	10^{18}	10^{20}

Autor: Alejandro Velásquez

Tacto: en consecuencia con la tabla 2, el tacto da información acerca de un gran número de variables y cada una de ellas tiene una limitación determinada por este órgano sensorial: por ejemplo para la temperatura, el umbral se considera cercano a los 50 grados centígrados.

Por su parte la posición como se dijo con anterioridad, no se distingue cuando es inferior a los 2mm de separación entre las partes a palpar con los dedos.

Oído: el oído humano es un detector sensible a la presión generada por el sonido. Además es el sentido con una respuesta más rápida (Yang, 2009), incluso más que la visión, debido a la forma en que viajan las ondas acústicas y en donde la fuente de sonido no debe estar alineada con el órgano receptor.

Los umbrales de este sentido dependen de manera drástica de la edad de las personas y de la frecuencia en que se emiten los sonidos. Por ello, es muy importante a la hora de involucrar el sonido en los productos conocer el rango de edad del usuario final.

Además de umbrales superiores, existen umbrales inferiores que, en el caso del oído, es de 20μPa.

Olfato: el olfato es un órgano receptor de sustancias químicas y es capaz de detectar alrededor de 10.000 aromas diferentes. Las limitaciones no son de cantidad sino de magnitud, es decir que cuando estos aromas son muy débiles o cuando la distancia de la fuente del aroma está muy alejada de la persona, el reconocimiento disminuye notablemente, a diferencia de otros seres vivos, como los perros.

Una característica interesante de este órgano es la fatiga olfativa, y se refiere a que luego de estar expuestos a un mismo aroma durante determinado tiempo, nos acostumbramos a éste y ya no lo distinguimos.

Igualmente, es el órgano más desarrollado al nacer, razón por la cual una gran cantidad de productos para recién nacidos tienen aromas para promover una identificación de marca por este tipo de usuario.

Por último, es el único lugar donde nuestro sistema nervioso central está directamente expuesto al ambiente, lo que representa una identificación inmediata del olor y el efecto inmediato de las inhalaciones en el sistema nervioso.⁶

Gusto: al igual que el olfato, el gusto es un órgano receptor de sustancias químicas, pero a distancias más cortas. Es el más débil de los sentidos.

6 Consultado en <http://www.serenearomatherapy.com/aromatherapy-olfaction.html>

Así como para la visión los colores primarios son el rojo, el verde y el azul, para el gusto los sabores primarios son amargos, salados, dulces y ácidos.

Su implementación en el diseño de productos puede verse limitada debido a las condiciones asépticas siempre deseadas; no obstante, los alimentos pueden tomarse como elementos complementarios de un sistema técnico, tales como un dispensador de dulces o una cafetera.

Igualmente, en el diseño de empaques de alimentos se pueden tener efectos adversos sobre los alimentos contenidos si no se tienen las consideraciones adecuadas.

Límites de los animales

Los animales sobrepasan los alcances de muchos de nuestros sensores — tenemos como ejemplo sus órganos efectores⁷—razón por la cual son empleados permanentemente, en especial los domésticos, en diferentes aplicaciones:

- Los perros son empleados en la búsqueda de sobrevivientes de catástrofes debido a su capacidad auditiva y olfativa.
- El asno por su capacidad de fuerza es constantemente empleado en el transporte de carga.
- Las palomas mensajeras pueden llevar pequeños mensajes en sus patas en tiempos mucho más rápidos que un ser humano.

Por otra parte, se pueden emplear esos rangos extras para tener una influencia sobre ciertos animales mientras no tengan ningún efecto sobre los humanos, por ejemplo:

- Un dispositivo para ahuyentar insectos por medio de ultrasonido.
- Un dispositivo para ahuyentar tiburones por medio de una vara que emite ondas electromagnéticas.

7 Órganos capaces de dar respuesta a un estímulo.

En la medida en que se puedan domesticar o adiestrar los animales, mayores serían las posibilidades de implementarlos, por ejemplo:

- La capacidad de visión infrarroja de las serpientes.
- La capacidad auditiva de los murciélagos.
- La visión lejana de las águilas.
- La visión nocturna de los búhos.

No obstante, dicha domesticación no es fácil y, por el contrario, llevó indirectamente al desarrollo de nuevas tecnologías por medio de áreas de estudio como la bioingeniería.

Límites de los sistemas técnicos

Se puede afirmar que los artefactos se crearon para superar los límites humanos, no en la interacción con los mismos humanos sino con el entorno y demás artefactos.

Las máquinas buscan ser extensiones de los sensores y actuadores humanos con el fin de llegar a donde éstos no pueden llegar y hacer lo que éstos no pueden hacer.

Los adjetivos como preciso, fino, económico, resistente y rápido generalmente son relativos a las capacidades humanas.

En conclusión, se puede afirmar que los límites de los sistemas técnicos para interactuar con el entorno y demás artefactos los define la imaginación humana, no obstante el umbral para interactuar con los humanos siempre estará definido por las capacidades de estos últimos.

Límites del entorno

Igualmente, el entorno presenta los límites que ayudarán a determinar el rango de trabajo de los sensores de los sistemas técnicos y por lo tanto su selección.

En el ejemplo de los vehículos, la temperatura no variaría entre los 0 y 45 grados centígrados, pero si ese vehículo se comercializa en

lugares con las cuatro estaciones, es necesario que los sensores de temperatura puedan entrar a rangos por debajo de los cero grados. De igual manera, en la selección de los sensores de identificación de trazado de las líneas en las autopistas, es necesario saber las características de la pintura bajo diferentes temperaturas.

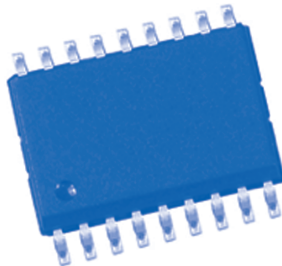
Por ello, el entorno es imperativo a la hora de seleccionar los sensores de un sistema técnico.

Utilidad de controladores embebidos para lograr productos interactivos

La utilización de todos los sensores sería inútil sin la implementación de un sistema centralizado de adquisición de datos, ya que las señales provenientes de los sensores de manera eléctrica no serían de gran ayuda sin una adecuada digitalización, lo cual no es más que disponer de la información en forma de bits (unos y ceros) en el interior de un procesador electrónico, después de procesar la información para traducirla en señales a través de actuadores.

Para ello, una de las tecnologías más económicas hoy en día son los microcontroladores, figura 4, los cuales son circuitos integrados (IC)⁸ con un número determinado de pines cuya principal función es servir de interfaz entre el mundo exterior y el interior de éste. Es finalmente en estos pines donde se sueldan los cables de las señales de entrada provenientes de sensores, e igualmente los cables de las señales de salida que se dirigirán al control de actuadores.

Figura 4.
Ejemplo de un microcontrolador

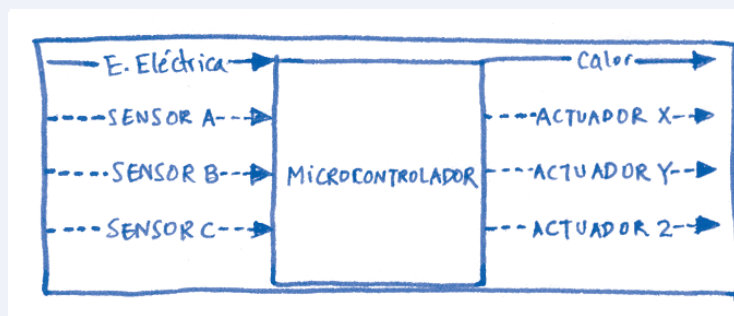


Autor: Alejandro Velásquez

8 Iniciales de la traducción al inglés de "Circuito Integrado" (Integrated Circuit).

Vale aclarar que la función de un microcontrolador, luego de recibir la información por medio de los pines de entrada, es la de hacer cálculos y tomar decisiones para finalmente operar señales de información a través de los pines de salida. Por ello, se puede ver como una caja negra, figura 5, cuyas entradas y salidas con señales de información—obviamente necesitando entrada de energía eléctrica para poder funcionar—, y salida de energía en forma de calor.

Figura 5.
El microcontrolador como una caja negra



Autor: Alejandro Velásquez

La programación de controladores embebidos como los microcontroladores se realiza a partir de software para desarrollar el código. Igualmente, es necesario un hardware especial para grabar el programa desarrollado en el microcontrolado, tal como se aprecia en la figura 6.

Figura 6.
Software y hardware para programas microcontroladores



Autor: Alejandro Velásquez

La selección del mismo dependerá además del estado en el que se encuentre el desarrollo del sistema técnico y de la complejidad de éste.

Tabla 4.
Características de lenguajes de programación

CARACTERÍSTICA	ALTO NIVEL	BAJO NIVEL
Número de funciones disponibles para la elaboración del programa.	ALTO	BAJO
Espacio de memoria ocupado una vez grabado el programa.	ALTO	BAJO
Facilidad de Programación	ALTO	BAJO
Costo del software para la elaboración del programa	ALTO	GRATUITO
Conocimientos técnicos para realizar la programación.	BAJO	ALTO

Autor: Alejandro Velásquez

Algunas de las tareas a escribir mediante el lenguaje de programación son:

- Inicialización.
- Lectura de señales eléctricas, tanto digitales como análogas, conectadas a los pines de entrada.
- Realización de cálculos matemáticos y toma de decisiones por medio de algoritmos.
- Envío de señales eléctricas a los pines de salida para manipular los actuadores.

La ejecución de estas tareas puede realizarse de manera sincrónica, es decir, en un orden predeterminado por medio de pasos secuenciales durante los cuales no surgen eventos inesperados. Sin embargo, en la mayoría de los casos se tienen eventos inesperados imposibles de prever por parte del programador tales como:

- La entrada de una moneda en un teléfono público.
- La elevación de la temperatura por fuera de rangos aceptables en un horno microondas.

Para ello es necesaria la programación asíncrona la cual, además de tener una serie de pasos con un orden predeterminado, tiene segmentos de código que son ejecutados sólo cuando ocurre un evento inesperado. Esto se hace a través de interrupciones⁹ de cuyo nombre se deriva su función; precisamente interrumpen el programa sincrónico en ejecución, donde éste se encuentre, para atender el evento inesperado y luego retornan al punto donde detuvieron el programa.

Además de los eventos inesperados, hay eventos que se desean ejecutar cada determinado tiempo. Sin embargo, cuando estos tiempos son muy largos es preferible emplear la programación asíncrona, pues de lo contrario se estaría mal utilizando el controlador esperando determinado tiempo, cuando podría estar realizando cálculos matemáticos u otras operaciones importantes. Algunos ejemplos en productos pueden ser:

- Una batidora automática que cada dos minutos debe encender el motor con el fin de evitar la sedimentación de la fruta.
- Una cámara con LED que titila cada 20 segundos, durante 3 segundos.

Para finalizar con un mejor entendimiento de los conceptos de programación síncrona o asíncrona, vale la pena realizar una analogía con el comportamiento humano. Por ejemplo, si se tiene un trabajador ensamblando tapas de botellas, habrá varios eventos inesperados que deberá atender tales como: una llamada en su teléfono celular, una necesidad de ir al baño, cerrar la ventana porque empezó a llover, etc. Más aún, deberá determinar la prioridad de atender dichos eventos en caso de que se presenten en el mismo instante de tiempo.

Así mismo, si cada dos horas el trabajador debe realizar un informe, no puede esperar todo ese tiempo sin aprovecharlo en realizar otras actividades.

9 En programación de computadores, interrupción se refiere a eventos fuera de lo común que suceden mientras se ejecuta un programa síncrono.

Utilización de herramientas como diagramas de flujo para concretar la programación de los controladores

Bases para realizar un diagrama de flujo

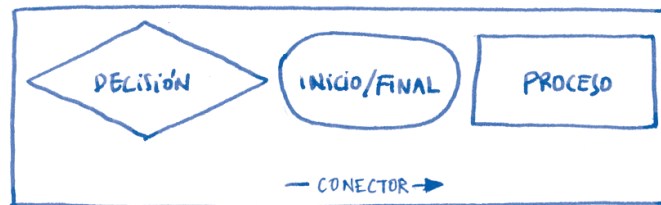
La utilización de diagramas es de gran utilidad en la ingeniería y más cuando se trata de mirar paso a paso lo que debe realizar un sistema técnico.

En este artículo se describirá un tipo de diagramas que facilita el proceso de diseño y de toma de decisiones, en especial en proyectos que requieren incorporar microcontroladores.

Se trata de los diagrama de flujo, que no son más que un orden lógico de cómo debe ser la experiencia entre el usuario y el artefacto, y el proceso de toma de decisiones de éste último.

Para su elaboración basta con implementar los elementos geométricos de la figura 7.

Figura 7.
Elementos básicos de un diagrama de flujo



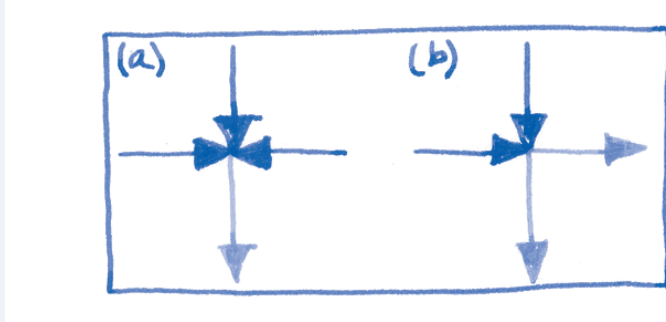
Autor: Alejandro Velásquez

Igualmente, con respetar las siguientes normas:

- A un punto de intersección pueden llegar varias líneas (Figura 8a).
- De un punto de intersección sólo puede salir una sola línea (Figura 8b).

La razón por la cual sólo puede salir una línea de un punto de intersección es porque se trata de un solo procesador que puede tomar solamente un camino a la vez.

Figura 8a-8b.
Reglas en la elaboración de un diagrama de flujo



Autor: Alejandro Velásquez

Ejemplo de una máquina dispensadora de dulces

Para ilustrar mejor, se elaborará el diagrama de flujo de una máquina dispensadora automática de dulces, cuya caja negra se observa en la figura 9.

En primer lugar, se debe elaborar un listado del conjunto de entradas (sensores) y salidas (actuadores) que se requieren para una máquina de este tipo.

Solución A

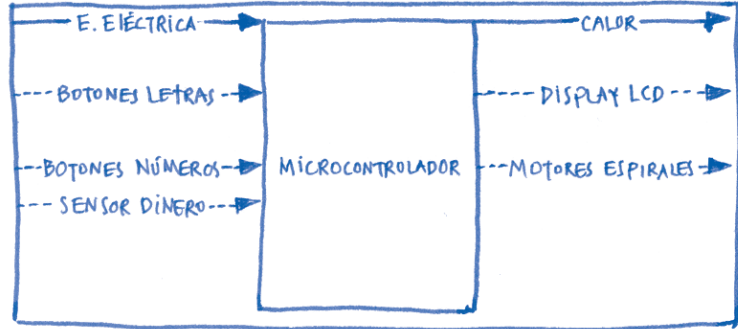
Entradas:

- Botones de letras
- Botones de números
- Sensor de entrada de dinero

Salidas:

- Motor de espiral de cada dulce
- Visualizador de cristal líquido para mostrar información al usuario

Figura 9.
Caja Negra A de un dispensador de dulces



Autor: Alejandro Velásquez

Antes de hacer el diagrama de flujo se debe responder a las siguientes preguntas, las cuales tienen que ver con la manera en que la máquina interactúa con el usuario:

- ¿Qué empieza a realizar la máquina una vez se encienda?
- ¿Comienza a dispensar productos?
- ¿Muestra un mensaje de bienvenida?

Si se dejara el diagrama como en la figura 10a, la máquina operaría solamente una vez, lo cual no es lo que el siguiente usuario esperaría encontrar. Por el contrario, si se hace que vuelva al inicio como en la Figura 10b, la máquina recibirá al nuevo usuario con el mensaje de bienvenida.

A pesar de que la figura 10b puede parecer una buena solución, podrían darse las siguientes eventualidades:

- ¿Qué pasaría si el usuario presionó por error una combinación de letra y número que no tiene producto?
- ¿Qué pasaría si el producto se atranca a la salida de la espiral y no alcanza a caer a la bandeja para que el usuario lo recoja?
- ¿Qué pasaría si el usuario no tiene dinero, una vez ha presionado la letra y el número?

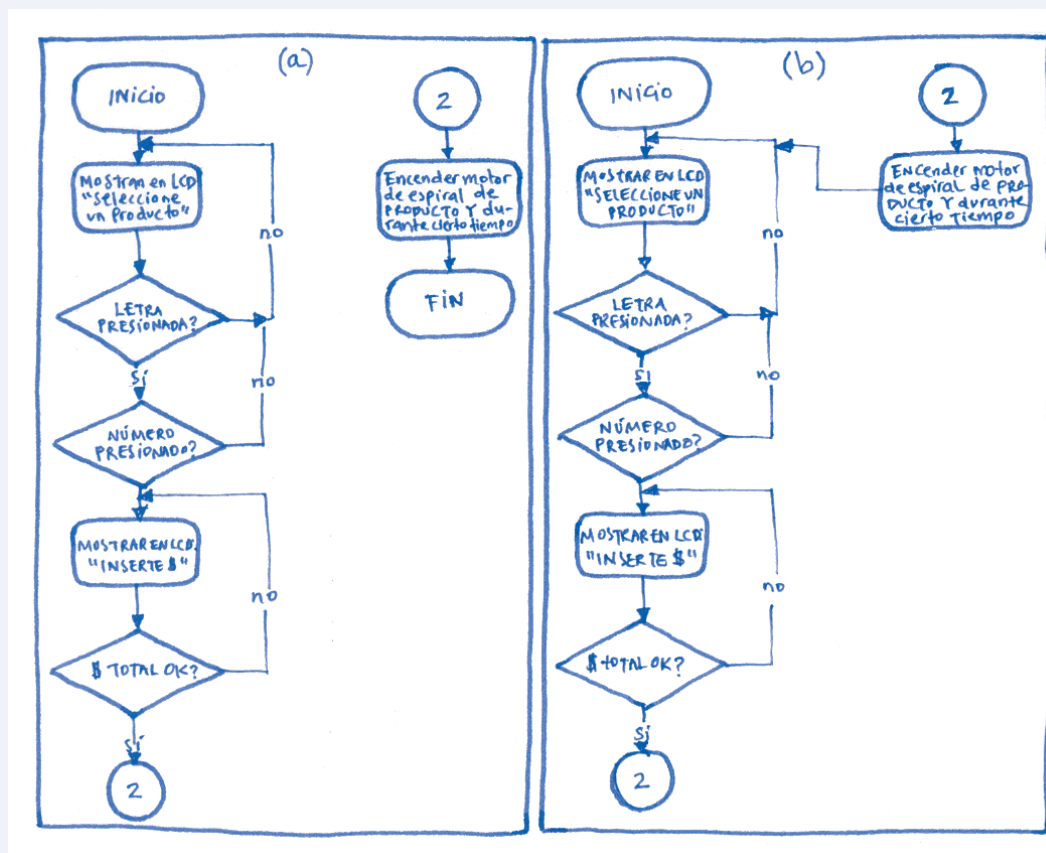
Todas estas preguntas son a las que normalmente las pruebas de usuario y la experiencia dan la respuesta, y una adecuada solución a ellas es la manera de lograr que un producto sea cada vez más "robusto y autónomo", adjetivos cada vez más requeridos y que marcan el límite entre buenos y malos sistemas técnicos.

Se dice que un producto es robusto cuando falla menos; y hay productos de los cuales no se tolera que fallen, en especial cuando intervienen con el dinero de los usuarios

Se dice que un producto es autónomo cuando es capaz de tomar decisiones por sí mismo sin necesidad de terceros.

Figura 10.

(a) Diagrama de flujo inicial (b) Diagrama de flujo corregido.



Autor: Alejandro Velásquez

Solución B

En procura de una mayor robustez y autonomía es necesario replantear el conjunto de entradas y salidas. La caja negra de esta solución se observa en la figura 11.

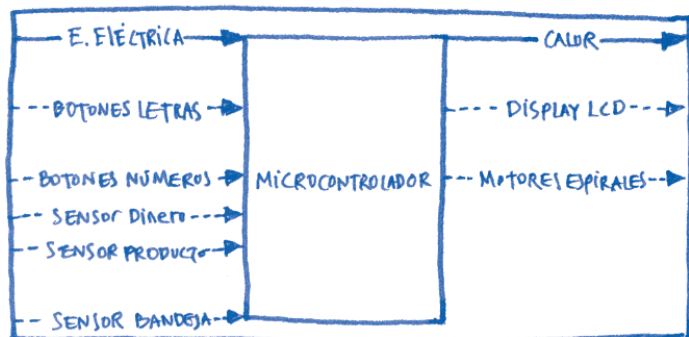
Entradas:

- Botones de letras.
- Botones de números.
- Sensor de entrada de dinero.
- Sensor de producto en espiral.
- Sensor de producto en bandeja.

Salidas:

- Motor de espiral de cada dulce.
- Visualizador de cristal líquido para mostrar información al usuario.

Figura 11.
Caja Negra B de un dispensador de dulces



Autor: Alejandro Velásquez

Al agregar estos dos sensores e involucrar la variable tiempo, se obtiene finalmente el diagrama de flujo de la figura 12.

Conclusiones

A lo largo del artículo se vio la forma conceptual en que puede un sistema técnico interactuar con el usuario, el entorno y otros artefactos. Un buen análisis de la forma como se realizan estas interacciones requiere de la identificación y el conocimiento a fondo de cada una de estas entidades, con el fin de procurar la máxima efectividad de los actuadores y sensores del sistema técnico, y evitar la implementación de componentes que, a pesar de su costo y sus especificaciones, pueden no ser del todo útiles para la aplicación en estudio. Igualmente, de estas interacciones pueden derivarse una serie de emociones que pueden no ser la finalidad del diseño y como tal deben ser tomadas como factor diferenciador.

Así mismo, se miró una forma tecnológica para lograr dichas interacciones, específicamente a través de microcontroladores en donde es de vital importancia un reconocimiento inicial de las señales de información hacia y desde estos dispositivos. Su relevancia radica en que de ello depende la adecuada elaboración de un diagrama de flujo, el cual es el primer paso para lograr plasmar en el microcontrolador el pensamiento del diseñador.

Bibliografía

Carlson, N., *Fisiología de la conducta*, España, Ariel, 1999.

Velásquez, R.; E. Edwige, "Tactile Displays in Human-Machine Interaction: Four Case Studies", *The International Journal of Virtual Reality*, núm. 7(2), 2008.

Yang, X.; G. Chen, "Human-Computer Interaction Design in Product Design", *First International Workshop on Education Technology and Computer Science*, 2009.

Autor: Jose Augusto Ocampo



INGENIERÍA INVERSA

aplicada al diseño de productos Biomecánicos

Juan Felipe Isaza Saldarriaga
Santiago Correa Vélez

Introducción

Uno de los aspectos que ha impulsado el uso de la ingeniería inversa en la creación y mejora de productos biomecánicos, ha sido el desarrollo en imagenología médica como la Resonancia Magnética (RM) y la Tomografía Axial Computarizada (TAC), que han permitido obtener una visualización óptima de segmentos corporales que necesitan ser evaluados a partir de su geometría (Graham *et al.*, 2005). Esta tecnología ha sido utilizada como una herramienta importante en el diagnóstico médico, la planeación de terapias y el diseño de prótesis a la medida, ya que hace posible obtener información geométrica 3D de las estructuras anatómicas de un paciente, ya sean tejidos duros o blandos (Defrise, 2001). A las razones anteriores debe sumarse el desarrollo de los sistemas de computación, reflejados en las mejoras de velocidad y capacidad de almacenamiento de información.

En el campo de la investigación en bioingeniería existe la limitación de realizar experimentos directamente sobre sujetos vivos, ya que en algunos casos podría resultar costoso y éticamente cuestionable. Para disminuir costos y evitar riesgos, se ha hecho inevitable la utilización de modelos numéricos que se aproximen a problemas reales, los cuales, dependiendo de la calidad de la simulación, pueden ser aplicados a modelos clínicos. Dentro de los métodos numéricos aplicables en bioingeniería, existe, entre otros, el análisis por elementos finitos (Brekelmans *et al.*, 1972), el cual permite estimar la respuesta de un medio continuo ante acciones externas, mediante la subdivisión del mismo en unidades elementales en las cuales se plantean, en forma débil, las ecuaciones diferenciales (Zienkiewicz y Taylor, 2000) que gobiernan el problema físico. Una vez planteadas las ecuaciones diferenciales a nivel elemental, se ensamblan a nivel global, cumpliendo con los requisitos de continuidad (Taylor *et al.*, 1986). Por último, el sistema matricial de ecuaciones resultante se

resuelve, teniendo en cuenta las condiciones de contorno y las cargas externas (Bathe, 1982).

La formulación del elemento se hace con base en las ecuaciones diferenciales del problema que se debe resolver. Para ello, usualmente, se utilizan polinomios de interpolación que aproximen, tanto la forma del elemento como la variable de estado. Es por esto que una correcta selección del elemento implica tres factores: que la geometría del modelo se adapte a la que el elemento puede representar, que los polinomios de interpolación puedan copiar el comportamiento de la variable de estado, y que la formulación del elemento sea consistente con las ecuaciones diferenciales del problema físico. El uso del método de elementos finitos en el análisis biomecánico ha sido notable durante la última década (Nagasao *et al.*, 2002), utilizando modelos numéricos cada vez más cercanos a la realidad, que permiten al investigador reducir el tiempo y los costos requeridos para optimizar, aclarar o crear un nuevo concepto clínico (Chen *et al.*, 1998) (Beek *et al.*, 2000).

Las estructuras anatómicas conformadas por tejidos duros como huesos y dientes, tejidos blandos como ligamentos y cartílagos, están representados por geometrías complejas, generalmente asimétricas, en cuyo análisis no es recomendable realizar simplificaciones, debido a errores en la resolución de las ecuaciones diferenciales del problema, ocasionados por una inadecuada imposición de las condiciones de contorno y las cargas externas. Por ello, se han desarrollado diferentes técnicas para obtener reconstrucciones 3D de geometrías anatómicas complejas, utilizando imágenes de TAC (Lacroix *et al.*, 2006) (Magne *et al.*, 2007). Estos modelos tridimensionales reproducen con precisión los detalles geométricos de las estructuras anatómicas, pero en muchos casos están lejos de ser útiles para la simulación numérica por elementos finitos.

Los algoritmos de generación de malla convencionales, utilizados en el método de los elementos finitos, toman como base la geometría para realizar mallas estructuradas de elementos 2D o 3D. Dicha geometría debe ser depurada de tal forma que permita crear una malla continua para modelos conformados por varios componentes. La discontinuidad entre nodos que comparten interfaces produce singularidad en la matriz de rigidez y en la matriz de masa, haciendo el

problema irresoluble. De otro lado, la geometría debe permitir diferenciar componentes que tengan distintas propiedades de material, para asignar éstas a los elementos con facilidad. Ejemplos concretos de estos inconvenientes se presentan en el sistema craneofacial en donde interactúan la Articulación Temporo Mandibular (ATM) conformada por el cóndilo, disco articular y hueso temporal. Dichas estructuras anatómicas deben tener interfaces comunes, provenientes de la geometría, para realizar una malla continua.

Generalmente, las aplicaciones más comunes del FEM en el estudio de problemas biomecánicos se dan el análisis estructural de ciertas partes del cuerpo humano sometidas a un sistema de cargas y determinadas condiciones de frontera, las cuales pueden ser propias de su funcionamiento como por ejemplo las fuerzas de bruxismo, generadas por el apretamiento de los dientes o las cargas generadas en las rodillas producidas por el propio peso de las personas. Por otro lado, están las condiciones generadas por dispositivos ortopédicos como las prótesis o aparatología de ortodoncia. En algunos casos, el objetivo del análisis FEM es intentar determinar en función de los esfuerzos, deformaciones y desplazamientos, los puntos críticos de las estructuras anatómicas. En otros casos, se analiza la interacción entre la estructura anatómica y el dispositivo ortopédico cuyo resultado puede verificar el buen funcionamiento del dispositivo o una necesidad de rediseño.

Como complemento a la utilización del FEM en el proceso de diseño de productos o análisis biomecánico, es común la generación de modelos 3D reales, generalmente utilizando la tecnología de Prototipaje rápido (RP), la cual se refiere a una gama de tecnologías con la que es posible fabricar objetos por adición de material proveniente de datos CAD (Pham y Gault, 1998). El RP permite el diseño y manufactura de modelos 3D sin importar la complejidad geométrica, tradicionalmente esta tecnología ha sido utilizada como una herramienta de visualización física que en general no ofrece ningún tipo de duda, evitando interpretaciones erróneas. También se ha usado para la realización de pruebas funcionales que en muchos casos estimulan la generación de mejoras en el diseño y los procesos de producción. A diferencia de las tecnologías de manufactura tradicionales que remueven material para obtener el modelo final; el RP es un proceso que se realiza por adición de material. El modelo

es constituido por la sumatoria de un conjunto de capas en el plano X-Y que generan progresivamente el prototipo sólido en dirección del eje Z.

El RP aplicado a la biomecánica y a la medicina en general (Webb *et al.*, 2000), tiene como objetivo lograr de manera rápida modelos físicos 3D aproximados de la anatomía humana (Petzold *et al.*, 1999), los cuales se obtienen a partir del procesamiento de imágenes médicas como TAC, RM, ultrasonido y angiografía entre las más comunes. El RP ha sido utilizado en diversas especialidades médicas, que incluyen cirugía maxilofacial (D'Urso *et al.*, 1999), implantología (Heckmann *et al.*, 2001), neurocirugía (Wetzel *et al.*, 2005), ortopedia (Minns *et al.*, 2003) y cardiología (Binder *et al.*, 2000). A nivel quirúrgico ha sido aplicado en la planeación preoperatoria como herramienta de orientación y comunicación, con el fin de explicarle a un paciente determinado procedimiento quirúrgico de forma precisa. Adicionalmente, ha sido utilizado para la producción de prótesis personalizadas (Subburaj *et al.*, 2007) y la preparación de plantillas de resección a la medida. En muchos casos la aplicación de esta técnica ha mejorado la calidad del diagnóstico, aumentando la seguridad de la cirugía y disminuyendo el tiempo de la misma.

La creación de modelos 3D de estructuras anatómicas, requiere el procesamiento de imágenes médicas para extraer las regiones de interés, ya sean tejidos duros o blandos. A partir de ahí se realiza un proceso de modelación geométrica en un software CAD, cuyo resultado final es la generación de un archivo en formato STL,² el cual contiene la información geométrica de la estructura anatómica. El RP cuenta al menos con seis tecnologías de fabricación diferentes, sin embargo las más utilizadas para la generación de prototipos médicos son la estereolitografía (SL) y la deposición por hilo fundido, conocida también por sus siglas como FDM (Fused Deposition Modeling).

La estereolitografía, representa el método más popular de RP (Erickson *et al.*, 1999), esta tecnología requiere de un monómero líquido fotosensible del cual se forma un polímero que solidifica cuando es expuesta a la luz ultravioleta (UV). Una vez se transfiere el STL

2 El STL (Stereolithography File Format) es un tipo de archivo estándar para las máquinas de RP que contiene la información geométrica 3D de la estructura anatómica que se desea fabricar.

a la máquina de RP para iniciar el proceso de fabricación, ésta procesa la información geométrica y la convierte en un conjunto secuencial de capas, cuya superficie es de resina fotosensible. Al exponer cada capa a la luz UV, ésta se endurece y la máquina procede a depositar la capa siguiente. Este proceso se repite secuencialmente hasta obtener la totalidad de la pieza. El material utilizado en SL generalmente es translucido, quebradizo y sensible a la humedad.

La deposición por hilo fundido FDM (Tellis *et al.*, 2007) funciona bajo el mismo principio del SL, ya que en las dos tecnologías se construye el modelo 3D capa por capa, las principales diferencias se presentan en el tipo de material utilizado y la forma de depositarlo. En el proceso FDM se utiliza un filamento de un polímero termoplástico denominado Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS), este material posee una mayor rigidez que los fotopolímeros utilizados en SL, una mejor estabilidad dimensional y resistencia a la humedad. El FDM utiliza una boquilla que extruye un hilo de ABS sobre el plano X-Y, a una temperatura por debajo, pero cercana a su punto de fusión, el hilo solidifica rápidamente sobre la capa precedente, y la boquilla o inyector se levanta para construir la capa siguiente hasta completar el modelo. Tanto en SL como en FDM, debido a que la resina se encuentra inicialmente en estado líquido y que algunas capas sobresalen considerablemente sobre las capas subsecuentes, es necesario generar, además de la geometría principal, una estructura que permita el soporte de la pieza mientras ésta se va generando; de no hacerlo, las estructuras o capas que se encuentran en voladizo, caerían al no ser auto-soportadas. Estas estructuras de soporte son retiradas después de que el modelo solidifique en su totalidad. Estudios recientes, reportan una tecnología RP conocida como Electron Beam Meeting (EBM) con la cual es posible obtener modelos 3D directamente, en aleaciones de titanio biocompatible, haciendo posible el diseño de prótesis personalizadas que pueden ser implantadas directamente en un paciente (Faber *et al.*, 2006).

El propósito de este documento es ofrecer un panorama detallado sobre una metodología que facilite y mejore la calidad en el diseño y análisis de productos biomecánicos en general, utilizando tecnologías de ingeniería inversa que proporcionen geometrías anatómicas adecuadas, que a su vez puedan ser utilizadas en software comercial de elementos finitos. Además, el uso de herramientas de manufactura avanzada como el Prototipaje rápido, que proporcione una visión

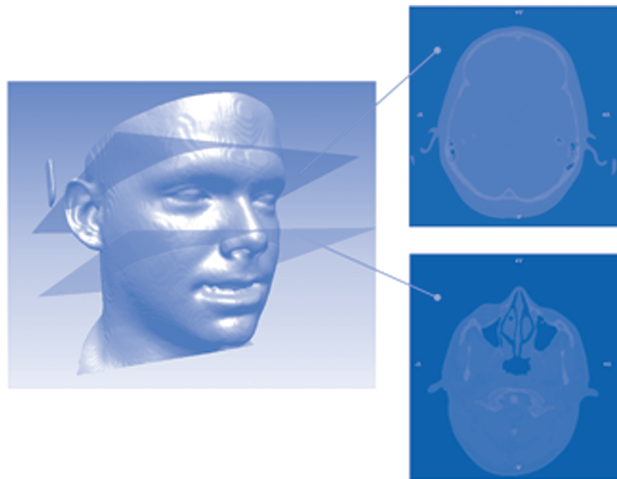
más clara de los aspectos funcionales y formales en el diseño final del producto antes de ser manufacturado, todo esto presentado a través de un caso de estudio.

Metodología

Selección del paciente y estudio de imágenes médicas

El primer paso para el diseño o análisis de un producto biomecánico es la definición del problema que desea estudiarse, el cual es inherente a un paciente en particular. Sobre el paciente seleccionado debe hacerse un estudio de imágenes médicas, en la zona anatómica de interés, a partir de la cual se obtiene la reconstrucción 3D de su geometría. Generalmente se realiza un estudio de TAC O RM en formato DICOM (Digital Imaging Standard for Medical Images) estándar universal para el manejo de imágenes médicas, conformado por un set de imágenes con una distancia entre ellas, representadas como cortes transversales de la anatomía de interés. Mientras menor sea la distancia entre cada corte o imagen, mejor será la calidad de la reconstrucción 3D. Los rangos de distancias más utilizados oscilan entre 0,5 mm y los 3mm. Con una distancia entre cortes de 0,5 mm se logra una reconstrucción de gran resolución, tal como la de la figura 1.

Figura 1.
Imágenes en formato DICOM



Los estudios de imágenes médicas se realizan en centros radiológicos especializados y los resultados deben ser entregados en CD o DVD. Básicamente el archivo contiene el número de imágenes una a una, discriminadas por un número y la extensión *.dcm.

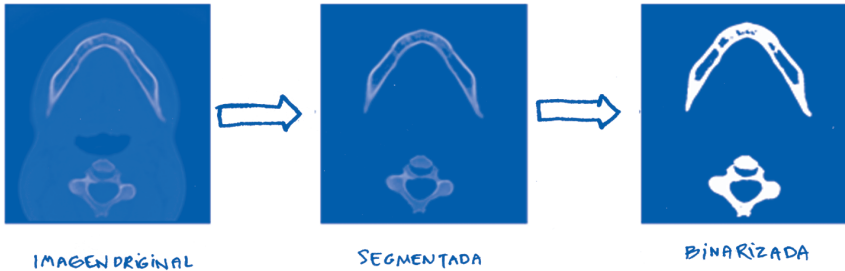
Procesamiento de imágenes

Segmentación y binarización

Una vez se tiene el estudio de imágenes médicas, es necesario el siguiente paso que consiste en la realización de un procesamiento del set de imágenes que arroje como resultado una nube de puntos 3D. Para esto existe una variedad de herramientas que va desde aplicaciones desarrolladas por grupos de investigación, usando diferentes lenguajes de programación como C o C++ (Isaza *et al.*, 2008) y software comercial especializado. Una herramienta con la cual se pueden hacer desarrollos de forma fácil y rápida es con MATLAB, que cuenta con funciones para cargar, visualizar y procesar imágenes DICOM, haciendo posible generar nubes de puntos 3D y exportarlas a software comercial como archivos de texto con la extensión *.PTS en el cual puedan ser manipuladas. Entre los más conocidos se encuentran el Módulo REVERSE ENGINEERING de PROENGINEER y GEOMAGIC. También existen programas comerciales especializados que cuentan con módulos específicos para el procesamiento de imágenes médicas como MIMICS y RAPIDFORM.

Una vez cargado el estudio se procede con la etapa de segmentación, en la que se determina el tipo de estructura anatómica que se desea reconstruir; por ejemplo, tejido blando como cartílago y piel, o tejido duro como hueso y piezas dentales. Cada imagen en formato DICOM es de 8 bits, compuesta por una matriz de $m \times n$ píxeles. Cada píxel varía entre un valor en escala de grises de 0 a 255, donde 0 es negro y 255 es blanco. Por lo tanto, es necesario determinar un umbral de segmentación según el tipo de tejido que se vaya a reconstruir; por ejemplo, si se desea reconstruir hueso el umbral debe de estar entre un valor de escala de grises de 120 a 255. Los píxeles de la imagen que estén dentro del umbral son convertidos a 1 (blanco) los que estén por fuera a 0 (negro), esto es lo que se conoce como binarización de la imagen, como se observa en la figura 2.

Figura 2.
Segmentación y binarización de tejido duro



Autor: Juan Felipe Isaza

Eliminación de ruido y detección de bordes

Una vez binarizada la imagen, es posible que existan píxeles blancos que no hacen parte de la estructura que se desea reconstruir, los cuales son considerados como ruido en la imagen, por lo tanto es necesario eliminarlos. Existe una variedad de técnicas para la eliminación de ruido en imágenes, una de las más sencillas es el algoritmo conocido como operador de mayoría negra, en el cual se recorre y evalúa cada píxel dentro de la matriz, se asigna un valor negro a cada píxel blanco, figura 3, si la mayoría —más de 4 de sus 8 vecinos— son negros, de no cumplirse esta condición se deja como estaba. En algunos programas comerciales el ruido puede ser eliminado de forma manual haciendo una selección con el mouse.

Figura 3.
Filtrado de la imagen

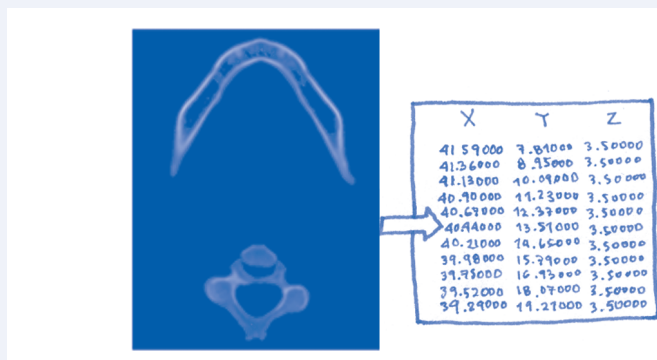


Autor: Juan Felipe Isaza

Una vez filtradas las imágenes, se procede a realizar la detección de los bordes, figura 4. El algoritmo detecta las posiciones (x,y,z)

de cada uno de los que delimitan las imágenes y va guardando la información de forma ordenada en un archivo de texto, en estructura de columnas, cada una representando una de las tres coordenadas. Generalmente la coordenada Z permanece constante para cada corte y va aumentando según la distancia entre imágenes, con la cual se realizó el estudio.

Figura 4.
Detección de bordes

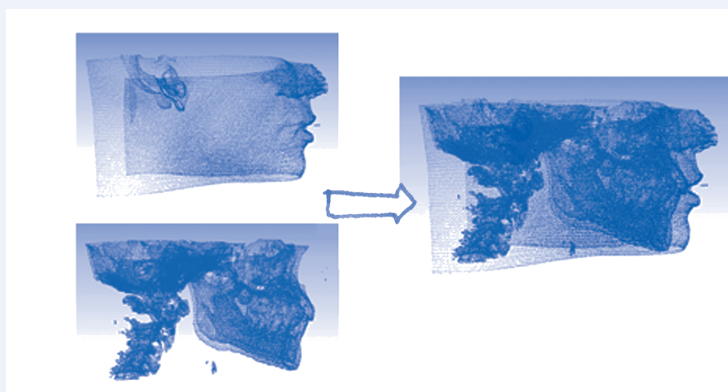


Autor: Juan Felipe Isaza

Generación de nubes de puntos

Con el archivo de texto en formato *.PTS es posible obtener nubes de puntos de diferentes estructuras anatómicas. En la figura 5 se observan las nubes de puntos individuales y superpuestas de los tejidos blandos y duros de un hombre adulto.

Figura 5.
Generación de nubes de puntos



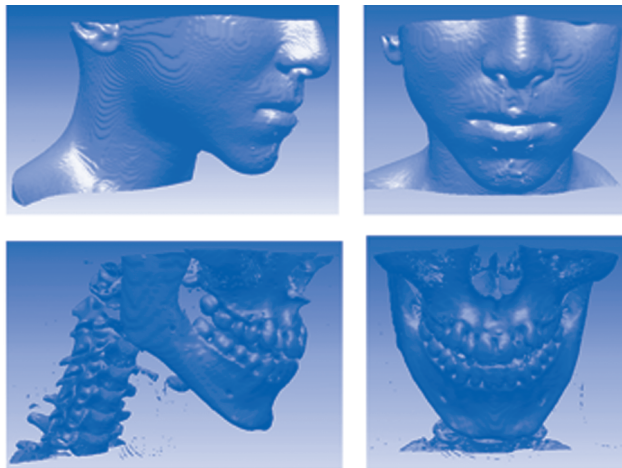
Autor: Juan Felipe Isaza

Reconstrucción 3D

Generación de superficies triangularizadas o Shell

Posteriormente, a partir de las nubes de puntos, se crea una malla triangularizada o shell. Generalmente, cada triángulo o faceta que conforma la superficie está formado por las coordenadas 3D de los vértices del triángulo y por el vector normal al plano formado por dichos vértices, que apunta hacia el exterior de la superficie. Los algoritmos para generar este tipo de mallas pueden programarse en diferentes lenguajes de programación, constituyéndose quizá en el punto del proceso más complejo de desarrollar. Como se mencionó anteriormente, existe software comercial en el que se pueden abrir las nubes de puntos y generar las superficies Shell; entre ellos está el Módulo REVERSE ENGINEERING de PROENGINEER, GEOMAGIC, MIMICS y RAPIDFORM. Después de generadas las superficies shell, estos software cuentan con opciones de edición como suavizados, eliminación de triángulos defectuosos y llenado de agujeros, entre otros. En la figura 6 vemos algunos ejemplos de superficies shell obtenidas a partir de nubes de puntos. Uno de las aplicaciones de este tipo de superficies es la generación de modelos 3D físicos, a partir de la creación de archivos en formato *.STL, los cuales son compatibles con la gran mayoría de máquinas de RP.

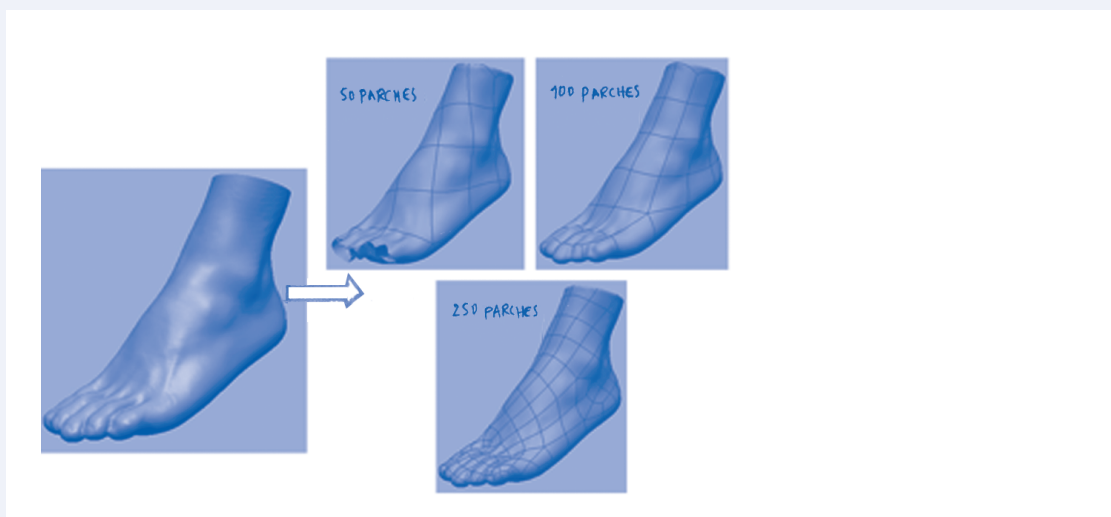
Figura 6.
Generación de Superficies Shell



Como paso seguido, teniendo como base la superficie shell, se deben crear superficies paramétricas de modo que la geometría resultante pueda ser convertida en un sólido que sea manipulado en software CAD o en programas de generación de malla en elementos finitos. En los programas mencionados anteriormente, es posible ir cubriendo el modelo de superficies paramétricas manualmente o también existe la opción de hacerlo automáticamente, siendo esta última la forma más efectiva y rápida en el caso de estructuras anatómicas. Básicamente, en la opción de Autosuperficie, el software solicita el número de parches con los cuales se desea recubrir la superficie shell. Mientras mayor sea el número de parches mejor se ajustarán las superficies paramétricas al modelo, figura 7, pero el costo computacional al realizar esta operación será mayor.

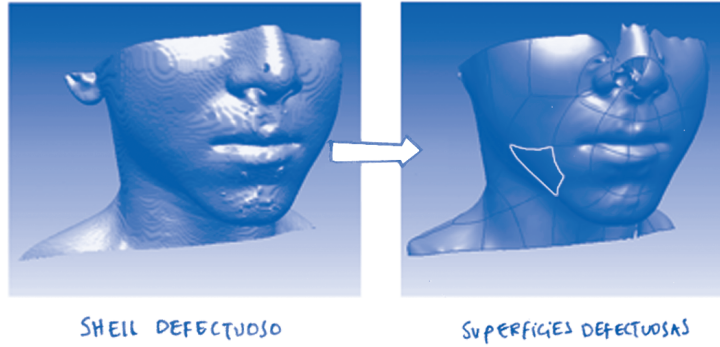
Es importante resaltar que la calidad en la generación de las superficies paramétricas depende en gran medida de la calidad de la superficie shell, la cual puede verse afectada por la superposición de triángulos, huecos en los vértices o bordes incorrectos, entre otros, tal como se aprecia en la figura 8. Una vez se tiene un conjunto de superficies paramétricas correctas, se procede a exportarlas a un programa de generación de malla, en este caso al software GID 8.0.9.

Figura 7.
Generación de superficies paramétricas automáticas



Autor: Juan Felipe Isaza

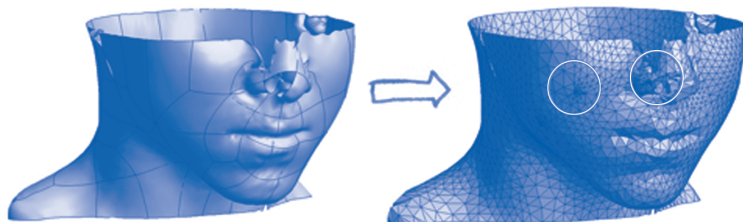
Figura 8.
Superficies paramétricas defectuosas



Autor: Juan Felipe Isaza

Una vez exportada la geometría en **IGD 8.0**, se realizan mallas de prueba para identificar errores en los parches de superficies que las conforman, tales como ángulos agudos, líneas fragmentadas y superposición de puntos —los cuales causan concentración de elementos y discontinuidad nodal—, imposibilitando obtener una malla estructurada, además de producir matrices globales singulares que hacen irresoluble el problema. Una vez identificados los parches de superficies, figura 9, deben ser transformados en figuras cuadradas y rectangulares, que permitan, a posteriori, la creación de mallas de elementos finitos estructuradas con buena relación de aspecto en los elementos, desviaciones paralelas admisibles y ángulos adecuados en las esquinas. La forma de los elementos ha sido relacionada con la calidad de los resultados y la medida de la misma ha sido reportada en varios estudios (Robinson, 1985). Terminado este proceso, se debe proceder a la generación de los volúmenes de cada estructura.

Figura 9.
Defectos en la malla, debido a las superficies

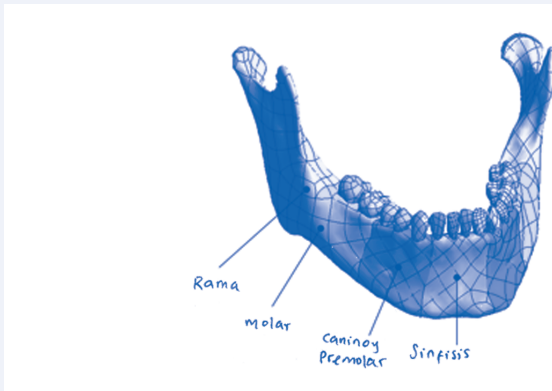


Autor: Juan Felipe Isaza

Generación de volúmenes y malla final

En esta etapa se deben generar los volúmenes respectivos a cada pieza, que harán parte del modelo final de elementos finitos. Cada volumen debe ser conformado por un conjunto de capas de superficies diferenciadas por nombre y color, algunas de ellas comunes a varios volúmenes en las zonas en donde comparten interface. Con la diferenciación de superficies comunes, se garantiza que cada estructura, en su interface, comparta los mismos nodos al momento de mallar con el propósito de evitar singularidad en la matriz de rigidez y de masa. Por ejemplo, la mandíbula humana, figura 10, según sus propiedades mecánicas se divide en cuatro regiones: rama, molar, canino/premolar y sínfisis, por lo tanto la geometría mandibular debe ser dividida de esta forma para poder asignar las propiedades de forma correcta al momento de realizar el análisis de elementos finitos. Esta división de volúmenes implica que volúmenes adyacentes, figura 11, compartan algunas superficies.

Figura 10.
División volumétrica de la mandíbula según propiedades mecánicas



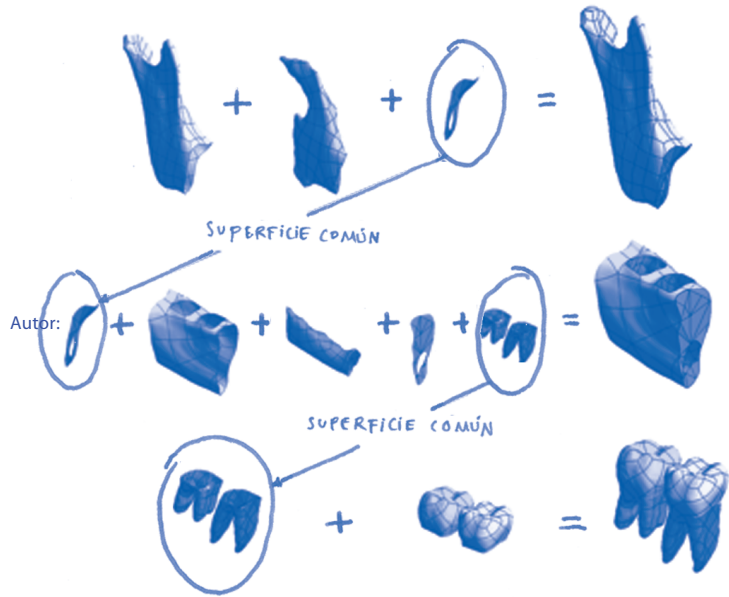
Autor: Juan Felipe Isaza

En la figura 12 se puede apreciar cómo los diferentes volúmenes, formados por superficies, comparten los nodos de la malla en las interfaces comunes con los demás.

Una vez los volúmenes son conformados y mallados, en **GID 8.0.9** existe la posibilidad de obtener un modelo de elementos finitos con diferentes combinaciones de mallas, tales como malla volumétrica,

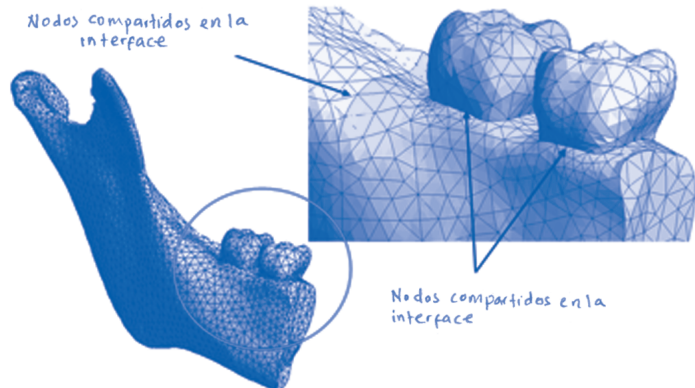
de línea y mallas tipo shell. El siguiente paso es exportar la malla a un software de elementos finitos.

Figura 11.
Formación de volúmenes



Autor: Juan Felipe Isaza

Figura 12.
Nodos compartidos en las interfaces entre volúmenes



Autor: Juan Felipe Isaza

Modelo de elementos finitos

En un problema continuo en cualquier dimensión, la variable de campo (cualquiera que esta sea, presión, temperatura, desplazamiento, tensión o alguna otra cantidad) posee infinitos valores porque es función de cada punto en el cuerpo o la región solución. Consecuentemente, el problema consta de infinitas incógnitas. El procedimiento de discretización en elementos finitos reduce el problema a un número finito de incógnitas, dividiendo la región solución en elementos y expresando las variables de campo desconocidas en términos de funciones aproximadas en cada elemento. Las funciones de aproximación (algunas veces llamadas funciones de interpolación) están definidas en términos de los valores de las variables de campo en puntos específicos, llamados nodos o puntos nodales. Los nodos usualmente están ubicados en las fronteras de los elementos donde se conectan con elementos adyacentes. Los valores nodales de las variables de campo y las funciones de interpolación, definen el comportamiento de estas variables en los elementos, lo que constituye, en últimas, la solución aproximada que aporta el método.

Definiciones básicas

- **Nodo:** coordenada en el espacio donde se considera que existen grados de libertad (desplazamientos, potenciales, temperaturas) y acciones (fuerzas, corrientes, fluidos) del sistema físico.
- **Elemento:** representación matricial (denominada matriz de rigidez o de coeficientes) de la interacción entre los grados de libertad de un conjunto de nodos. Representa una división finita de un conjunto o pieza en pequeñas porciones con lo cual un sistema con infinitos grados de libertad puede transformarse en un sistema de grados de libertad finitos y por ende soluciones finitas.
- **Grados de libertad (GDL):** son parámetros que definen unívocamente la configuración deformada de una estructura. Se relacionan con las fuerzas aplicadas mediante la matriz de rigidez.
- **Condiciones de contorno:** son valores fijos y predeterminados para algunos de los grados de libertad de un continuo. Evitan la singularidad de la matriz de rigidez y le dan una solución única al problema.

Selección del elemento

La selección del tipo de elemento depende del tipo de análisis a realizar y de la precisión de la solución.

Los criterios a tener en cuenta para la selección del tipo de elemento son:

- Dependiendo del tipo de análisis escoger elementos estructurales, térmicos o con capacidad de combinación entre ambos análisis.
- Dependiendo si el modelo es 2D o 3D determinar los tipos de elementos adecuados para cada caso.
- Una vez determinadas las dimensiones del problema, debe escoger entre elementos tipo barra, tipo viga, elementos planos o elementos tipo shell dependiendo de la configuración geométrica del modelo, los grados de libertad considerados, las cargas a aplicar, los espesores de las estructuras y los resultados a obtener.

Tipos de elementos

Teniendo en cuenta lo anterior, se describen los tipos de elementos más usuales en el análisis estructural estático y en el análisis térmico, por ser éstos los más utilizados desde el punto de vista de la Ingeniería de Diseño de Producto.

Elementos estructurales

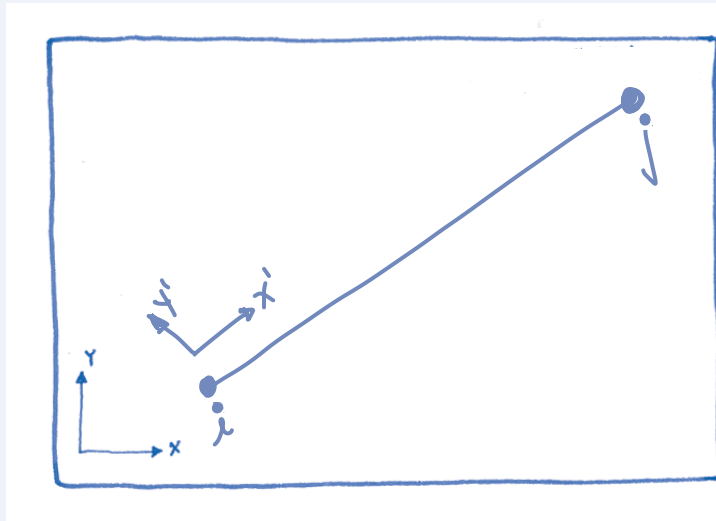
Viga elástica en 2D

Elemento uniaxial con capacidades de tensión, compresión y flexión. El elemento posee tres grados de libertad en cada nodo: U_x , U_y (traslaciones) y Rot_z (rotación). En la figura 13 se muestra la geometría, la localización de los nodos y el sistema de coordenadas del elemento.

Las constantes reales asociadas con el elemento son: área, I_{zz} (inercia), altura, constante de deflexión por corte.

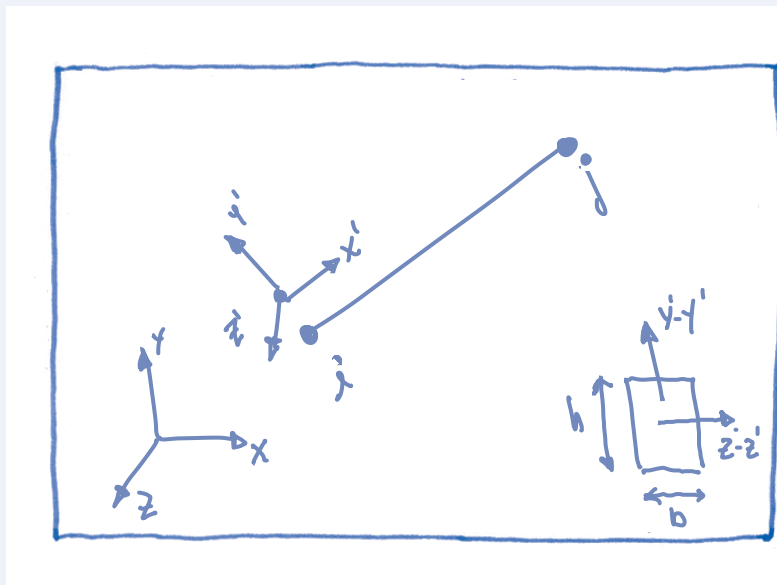
Las cargas que soporta son: fuerzas en X, Y, momentos en Z, presión y temperatura. Los resultados obtenidos: desplazamientos, temperaturas.

Figura 13.
Viga elástica en 2D



Autor: Santiago Correa Vélez

Figura 14.
Viga elástica en 3D



Autor: Santiago Correa Vélez

Elemento uniaxial con capacidades de tensión, compresión, torsión y flexión. El elemento tiene seis grados de libertad: $U_x, U_y, U_z, Rot_x, Rot_y, Rot_z$. En la figura 14 se muestra la geometría, localización de los nodos y sistema de coordenadas del elemento.

Las constantes reales son: área, I_{zz}, I_{yy} , espesor en Z, espesor en Y, ángulo de inclinación, constante de corte en Z, constante de corte en Y.

Las cargas que soporta son: fuerzas en X,Y,Z, momentos en X,Y,Z, presión y temperatura.

Los resultados obtenidos son : desplazamientos, temperaturas.

Elemento triangular en 2D de seis nodos

Elemento triangular con 6 nodos. Posee tres grados de libertad en cada nodo: U_x, U_y, U_z . Puede ser utilizado como elemento plano, tanto en esfuerzos como en deformaciones planas. La figura 15 muestra los nodos y el sistema de coordenadas del elemento.

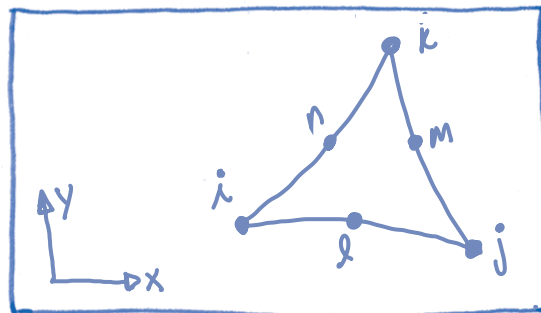
Las constantes reales son: si se considera un modelo de deformaciones planas, no tiene constantes asociadas. Si se considera un modelo de esfuerzos planos, debe darse el espesor del elemento.

Las cargas que soporta son: fuerzas en X,Y, presiones, temperaturas.

Los resultados obtenidos son: desplazamientos, tensiones (X,Y,X), tensiones principales (1,2,3), tensiones equivalentes.

Figura 15.

Elemento triangular en 2D de seis nodos

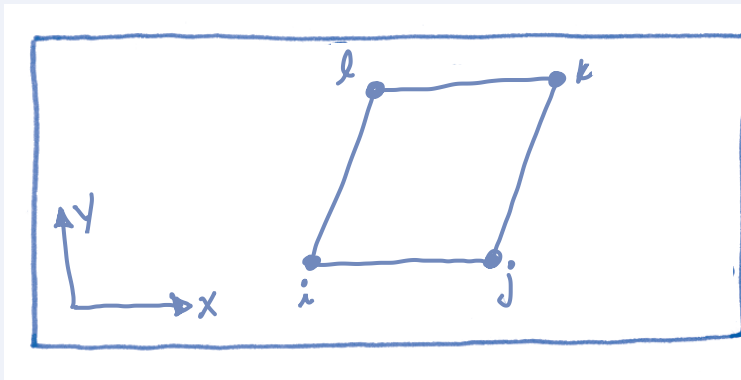


Autor: Santiago Correa Vélez

Elemento rectangular en 2D con cuatro nodos

Elemento rectangular con 4 nodos. Posee tres grados de libertad en cada nodo: U_x, U_y, U_z . Puede ser utilizado como elemento plano, tanto en esfuerzos como en deformaciones planas. La figura 16 muestra los nodos y el sistema de coordenadas del elemento.

Figura 16.
Elemento rectangular en 2D con cuatro nodos



Autor: Santiago Correa Vélez

Las constantes reales: si se considera un modelo de deformaciones planas, no tiene constantes asociadas. Si se considera un modelo de esfuerzos planos, debe darse el espesor del elemento.

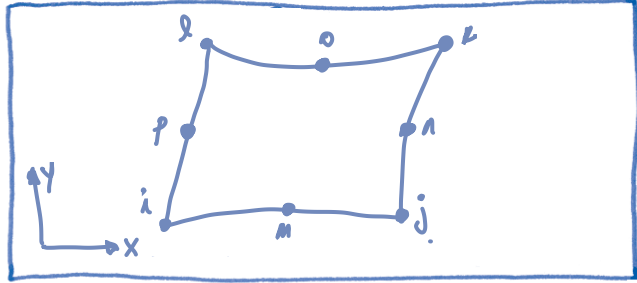
Las cargas que soporta son: fuerzas en X,Y, presiones, temperaturas.

Los resultados obtenidos son: desplazamientos, tensiones (X,Y,X), tensiones principales (1,2,3), tensiones equivalentes.

Elemento rectangular en 2D de 8 nodos

Elemento rectangular con 8 nodos. Posee tres grados de libertad en cada nodo: U_x, U_y, U_z . Puede ser utilizado como elemento plano, tanto en esfuerzos como en deformaciones planas. La figura 17 muestra los nodos y el sistema de coordenadas del elemento.

Figura 17.
Elemento rectangular en 2D con ocho nodos



Autor: Santiago Correa Vélez

Las constantes reales son: si se considera un modelo de deformaciones planas, no tiene constantes asociadas. Si se considera un modelo de esfuerzos planos, debe darse el espesor del elemento.

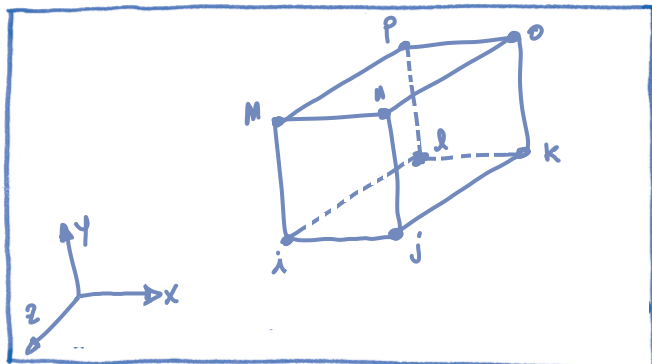
Las cargas que soporta son: fuerzas en X,Y, presiones, temperaturas.

Los resultados obtenidos son: desplazamientos, tensiones (X,Y,X), tensiones principales (1,2,3), tensiones equivalentes.

Elemento hexaedro sólido

Elemento hexaedro con 8 nodos, para modelos sólidos. Posee tres grados de libertad en cada nodo: U_x, U_y, U_z . La figura 18 muestra los nodos y el sistema de coordenadas del elemento.

Figura 18.
Elemento hexaedro sólido



Autor: Santiago Correa Vélez

Las constantes reales son: ninguna.

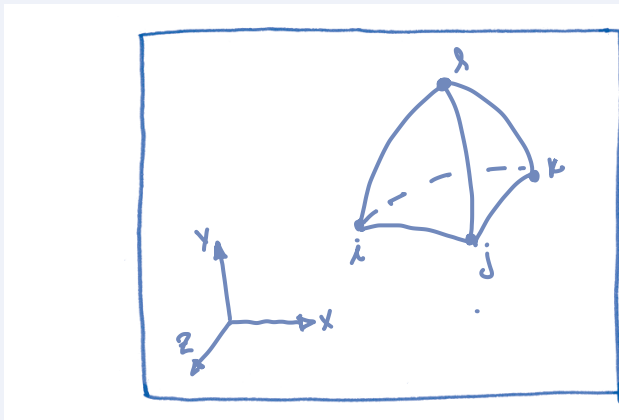
Las cargas que soporta son: fuerzas en X,Y,Z, presiones, temperaturas.

Los resultados obtenidos son: desplazamientos, tensiones (X,Y,Z), tensiones principales (1,2,3), tensiones equivalentes.

Elemento tetraedro sólido

Elemento tetraedro con 10 nodos, para modelos sólidos. Posee tres grados de libertad en cada nodo: U_x, U_y, U_z . La figura 19 muestra los nodos y el sistema de coordenadas del elemento.

Figura 19.
Elemento tetraedro sólido



Autor: Santiago Correa Vélez

Las constantes reales son: ninguna.

Las cargas que soporta son: fuerzas en X,Y,Z, presiones, temperaturas.

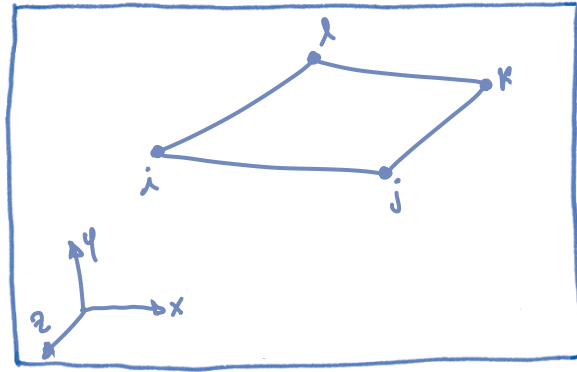
Los resultados obtenidos son: desplazamientos, tensiones (X,Y,Z), tensiones principales (1,2,3), tensiones equivalentes.

Shell elástico en 3D de 4 nodos

Elemento con capacidades de membrana. Permite cargas en ambas caras. El elemento tiene 4 nodos y seis grados de libertad por nodo:

U_x, U_y, U_z y Rot_x, Rot_y, Rot_z . La geometría, localización de nodos y el sistema de coordenadas del elemento se muestran en la figura 20.

Figura 20.
Shell elástico en 3D de 4 nodos



Autor: Santiago Correa Vélez

Las constantes reales son: espesor en los cuatro nodos (I,J,K,L).

Las cargas que soporta son: fuerzas en X,Y, presiones, temperaturas.

Los resultados obtenidos son: desplazamientos, tensiones (X,Y,X), tensiones principales (1,2,3), tensiones equivalentes.

Shell elástico en 3D de 8 nodos

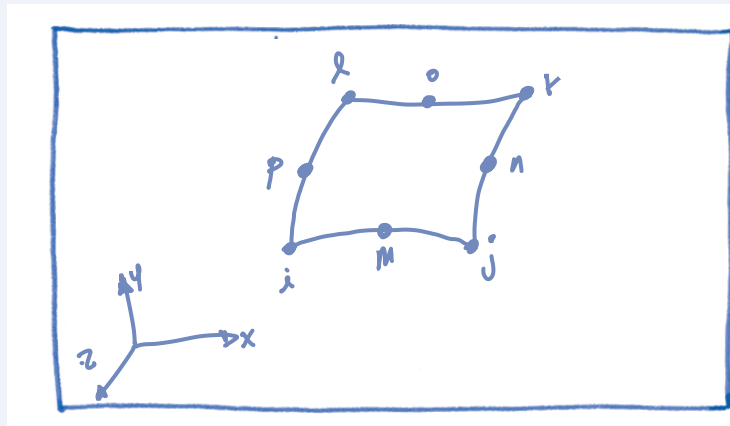
Elemento con capacidades de membrana. Permite cargas en ambas caras. El elemento tiene 8 nodos y seis grados de libertad por nodo: U_x, U_y, U_z y Rot_x, Rot_y, Rot_z . La geometría, localización de nodos y el sistema de coordenadas del elemento se muestran en la figura 21.

Las constantes reales son: espesor en los ocho nodos (I,J,K, L,M,N,O,P).

Las cargas que soporta son: fuerzas en X,Y, presiones, temperaturas.

Los resultados obtenidos son: desplazamientos, tensiones (X,Y,X), tensiones principales (1,2,3), tensiones equivalentes.

Figura 21.
Shell elástico en 3D de 8 nodos



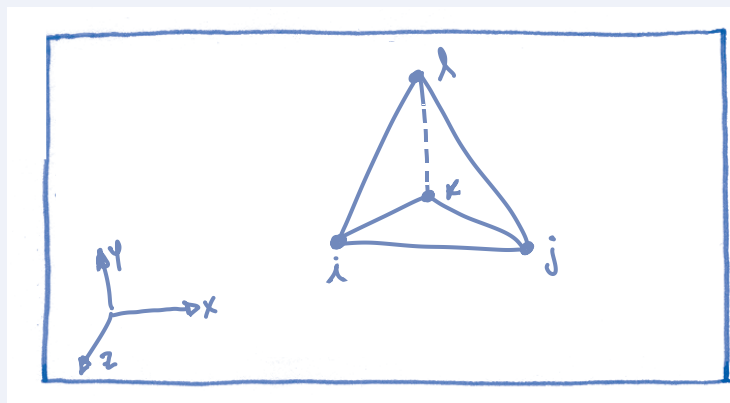
Autor: Santiago Correa Vélez

Elementos térmicos

Elemento tetrahedro térmico

Elemento sólido para análisis térmico estático o transitorio. Posee un grado de libertad por nodo: TEMP (temperatura). La geometría, posición de los nodos y sistema de coordenada del elemento se muestra en la figura 22.

Figura 22.
Shell elástico en 3D de 4 nodos



Autor: Santiago Correa Vélez

Las constantes reales son: ninguna.

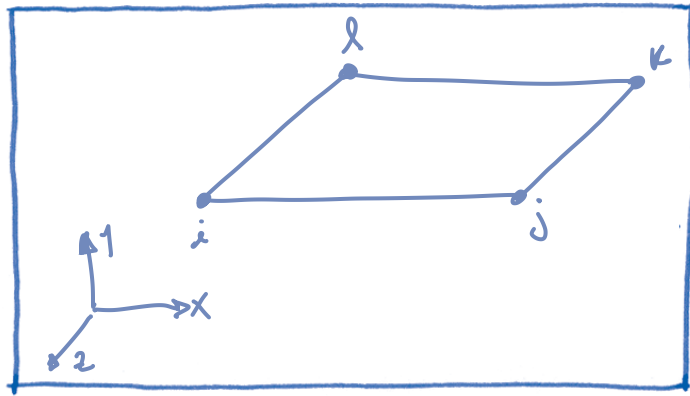
Las cargas que soporta son: convección, flujos de calor, generación de calor.

Los resultados obtenidos son: temperaturas, gradientes térmicos, flujos de calor.

Shell térmico en 3D

Elemento tridimensional que posee capacidades de conducción térmica en el plano. El elemento tiene cuatro nodos y un solo grado de libertad: TEMP. Puede utilizarse en análisis estáticos o transitorios. La geometría, posición de los nodos y sistema de coordenadas del elemento se muestra en la figura 23.

Figura 23.
Shell térmico en 3D



Autor: Santiago Correa Vélez

Las constantes reales son: ninguna.

Las cargas que soporta son: convección, flujos de calor, generación de calor.

Los resultados obtenidos son: temperaturas, gradientes térmicos, flujos de calor.

Mallado de modelos sólidos

El proceso de mallado de modelos sólidos consta de cuatro etapas básicamente:

- Selección del tipo de elemento (analizado en la sección anterior).
- Definición de constantes reales asociadas con los elementos.
- Definición de propiedades de los materiales del modelo.
- Creación de la malla de elementos finitos con sus atributos correspondientes.

A continuación se analizarán las tres últimas etapas del mallado.

Definición de constantes reales

Las constantes reales son valores asociados a los elementos que definen características geométricas de los modelos de elementos finitos. Como ejemplo de constantes reales tenemos: el área transversal de una pieza, el espesor, la inercia relativa a un eje coordenado y constantes de elasticidad en resortes.

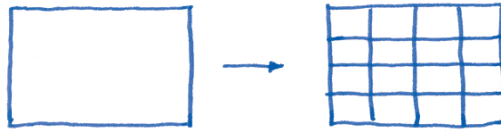
Definición de propiedades mecánicas asociadas con los elementos

Generalmente, en aplicaciones médicas que involucran un análisis de elementos finitos, las propiedades mecánicas son tomadas de la literatura técnica, específicamente de investigaciones que se han especializado en determinar las propiedades mecánicas de ciertas partes del cuerpo como huesos, cartílagos, tendones y músculos. Los artículos científicos en donde se reportan dichos datos, pueden ser encontrados en bases de datos internacionales como [www.sciencedirect](http://www.sciencedirect.com) y www.scopus.com, a partir de la utilización de palabras clave o el nombre del autor del estudio. El tema de la determinación de las propiedades mecánicas de tejidos biológicos todavía genera cierta controversia en cuanto a la confiabilidad de los datos, ya que en muchos casos es información tomada en estudios sobre animales como simios, perros y cerdos, o sobre tejidos humanos muertos, por eso es importante revisar con cuidado la forma cómo fueron determinadas dichas propiedades antes de usarlas, o en su defecto utilizarlas estando conscientes de las limitaciones que poseen.

Creación de la malla de elementos finitos

- Método global: donde se introduce la longitud de lado del elemento o el número general de divisiones de todas las fronteras del modelo. Por ejemplo, si se desea mallar un área como la de la Figura 24, con 5 divisiones en las fronteras, el resultado será el mostrado.

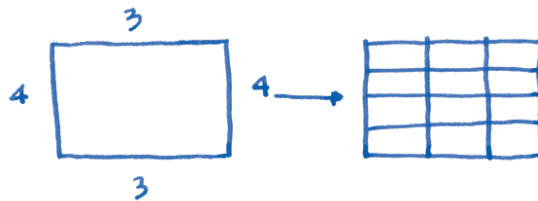
Figura 24.
Mallado mediante el método global



Autor: Santiago Correa Vélez

- Control del tamaño de la malla en las fronteras: con este método se puede determinar el número de divisiones o el tamaño del lado del elemento en cada una de las entidades que conforman las fronteras del continuo a mallar. Por ejemplo, si se desea definir un número de divisiones en cada lado del área mostrada en la figura 25, el resultado será el mostrado.

Figura 25.
Mallado mediante control de malla



Autor: Santiago Correa Vélez

Cargas y condiciones de contorno

Al asignar las cargas y restricciones de un determinado caso de estudio, la biomecánica misma del problema es la que debe indicar cuáles son los valores, las direcciones y la ubicación de las fuerzas y los momentos. A su vez, cuáles son las regiones y los grados de

libertad con los cuales se deben asignar las restricciones. En algunos casos, esta información se encuentra reportada en estudios técnicos y en otros casos debe de ser calculada por medio de pruebas experimentales en donde se utilizan celdas de carga, transductores de presión, equipo de electromiografía, entre otros. Un caso especial son las restricciones musculares en las cuales debe tenerse en cuenta la dirección de la fibra muscular y la rigidez del músculo. Un error frecuente, encontrado en la literatura, es considerar las restricciones musculares como empotramientos perfectos. Nada más lejos de la realidad, ya que la flexibilidad del músculo le proporciona al apoyo grados de libertad que deben ser considerados.

A menudo un modelo debe analizarse bajo distintas premisas de carga. Para ello, es conveniente emplear los denominados casos de carga.

Los casos de carga se refieren a condiciones de contorno múltiples dentro de un mismo análisis. Se presenta cuando a un mismo modelo de elementos finitos se le aplica una sucesión de cargas y condiciones de contornos diferentes e independientes unas de otras. La ventaja de utilizar los casos de carga es que se reducen los tiempos de cómputo de los problemas, ya que se plantea la matriz de rigidez del problema una sola vez, y sólo cambian el vector desplazamientos y el vector fuerzas cada vez que se soluciona un caso de carga. Si se ejecutaran todos los análisis por separado, se tendría que plantear la matriz de rigidez para cada uno, lo que incrementaría los tiempos de cálculo.

Interface GID 8.0 - ANSYS 10

Para exportar la malla a ANSYS 10, se utiliza el lenguaje de programación de GID 8.0.9, en el cual se generan archivos de texto que contienen la información de la malla de elementos finitos, esto es, coordenadas nodales y conectividades elementales. Este archivo debe ser convertido a la sintaxis que ANSYS 10 reconoce. Los archivos obtenidos en GID 8.0.9 son procesados en MATLAB 6.0 para generar uno de compatibilidad con ANSYS 10.0 en APDL (Ansys Parametric Design Language). Este último es leído directamente por ANSYS 10, obteniéndose la malla de elementos finitos en dicho programa, lista

para imponer propiedades de material, condiciones de contorno y cargas.

Análisis de resultados

Una vez calculado el modelo numérico, se procede a realizar el análisis de resultados, en el cual generalmente se analizan los desplazamientos y los esfuerzos de von Mises como criterio de falla. El análisis de resultados puede traer como consecuencia cambios estructurales en el producto. En este caso, se deben realizar los cambios geométricos necesarios y calcular de nuevo el modelo. Una vez garantizada la resistencia estructural del producto se procede a su manufactura.

Fiabilidad de la solución

Existen varias maneras de determinar, aproximadamente, si la solución obtenida por elementos finitos es adecuada. Cabe anotar que los métodos que hacen esto, sólo predicen que el resultado del modelo es adecuado, es decir, que la densidad de malla es correcta, que las cargas y condiciones de frontera no producen singularidades, etc. Pero nunca un método de fiabilidad de la solución predecirá si el modelo está adaptado a la realidad. Esto corresponde a las habilidades y conocimientos del diseñador. Si el modelo físico está mal interpretado en un modelo de elementos finitos, la solución será, de entrada, incorrecta.

El nivel de incertidumbre (I total) en un modelo de elementos finitos puede definirse como:

$I_{\text{total}} = I_{\text{geometría}} + I_{\text{propiedades del material}} + I_{\text{condiciones de frontera}} + I_{\text{tipos de elemento}} + I_{\text{densidad de malla}}$.

Incertidumbre por geometría

La incertidumbre debida a la geometría se basa en cuán detallado es el modelo geométrico que se emplea. Básicamente deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos.

Los modelos más eficientes desde el punto de vista geométrico son los modelos 3D pero presentan el inconveniente de que los tipos de elementos que se suelen emplear son limitados.

Los modelos planos, con elementos de cáscara, son muy eficientes si se tiene en cuenta que ha de trabajarse con los planos medios de las piezas.

Los modelos de vigas suelen ser eficientes, pero debe tenerse mucho cuidado con la orientación de los ejes de inercia de las vigas. Una viga rectangular no trabaja igual en ambos ejes del plano de la sección transversal.

Incertidumbre por las propiedades de material

Debe tenerse en cuenta que las propiedades de los materiales cambian con relación a la temperatura.

Debe tenerse en cuenta la anisotropía de los materiales, es decir, relacionar las propiedades en una dirección de un material, con los ejes de coordenadas locales de los elementos, de tal forma que coincidan. Cabe recordar que los elementos, por defecto, orientan el sistema de coordenadas local de acuerdo con el global, y las direcciones de las propiedades de los materiales, de acuerdo a la orientación de las piezas, no suelen coincidir.

Debe tenerse en cuenta que no todos los materiales que pueden utilizarse en un diseño estructural o térmico pueden estar correctamente caracterizados. En muchas ocasiones, sólo pueden obtenerse pruebas realizadas de forma empírica, sin ajuste a la normalización. Además, algunos tipos de materiales son difícilmente caracterizables y modelables como son los compuestos.

Incertidumbre por las condiciones de frontera

Las condiciones de frontera dentro de un modelo de elementos finitos, en ocasiones son directamente obtenidas de la percepción física que se tiene de un sistema. Pero existen ciertos elementos mecánicos como rodamientos, rótulas, resortes, *flexures*, que no

son inmediatamente representados como condición de contorno. La experiencia del diseñador en este aspecto es muy importante, y depende mucho de la capacidad de abstraer físicamente el concepto de apoyo de una estructura, en el caso estructural, o el tipo de fuente calórica en el caso térmico.

Incertidumbre por el tipo de elemento

La incertidumbre por el tipo de elemento se refiere al grado de similitud del modelo con respecto de la realidad y se basa en una correcta selección de elementos.

- Los grados de libertad que tiene el modelo

En cuanto a los grados de libertad, la incertidumbre radica, fundamentalmente en los elemento tipo barra y viga y en los elementos tipos planos y shell. En cuanto a los elementos de barra y viga, el diseñador debe estudiar, detenidamente, si su estructura trabaja como barra o como viga, y modelarlo con uno u otro elemento de acuerdo a este razonamiento.

En cuanto a los elementos planos, debe considerarse si la teoría de esfuerzos planos es aplicable a su estructura. No todos los elementos shell copian un momento alrededor del eje normal.

- Solicitación del elemento

En cuanto a la solicitud del elemento, debe analizarse si este trabaja a tracción pura o a flexión, y utilizar el elemento adecuado en este caso. Algunos elementos shell no copian la deformación por cortante. Algunos elementos 3D no transmiten momentos.

Incertidumbre por la densidad de la malla

La densidad de la malla plantea a los diseñadores la siguiente dualidad: ¿Es la malla lo suficientemente densa para converger en la solución más aproximada dentro del presupuesto de error? ¿Es viable en cuanto a utilización de recursos, necesidades de hardware y sobre todo tiempo y dinero, la densidad de malla elegida? Es una dualidad en cuanto a la incertidumbre por los resultados y el costo que se paga por obtenerlos.

Existe un método práctico para determinar la convergencia de la solución. Se ejecuta el modelo con tres densidades de malla diferentes, cada una con un tamaño de elemento igual a la mitad del anterior. Se calculan los porcentajes de error en tensiones entre un análisis y el anterior. Esto debe hacerse hasta obtener un porcentaje inferior al 5% entre dos mallas sucesivas, nunca con menos de tres tamaños de malla diferentes.

Manufactura

Para la manufactura de productos biomecánicos es importante determinar cuál es el tipo de material que se está utilizando; en el caso de las prótesis, existen dos grupos, las exoprótesis y las endoprótesis. En el primero, la prótesis está en continuo contacto con el medio ambiente y los criterios de selección para elegir el material de fabricación son: alta resistencia mecánica según sus características funcionales, bajo peso y resistencia a la corrosión. Por lo tanto, en la materialización de una exoprótesis pueden coincidir diferentes tipos de materiales como metales, generalmente aceros inoxidable como el 304 y aleaciones de aluminio como el duraluminio o la aleación 6061-T6. También se utilizan materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con fibra de vidrio o fibra de carbono. En las figuras 26 y 27 podemos observar dos exoprótesis desarrolladas por estudiantes de Ingeniería de Diseño de Producto dentro de sus proyectos de grado (Correal *et al.*, 2006).

Figura 26.
Exoprótesis de rodilla policéntrica



Autores: Sara Correal, Lía Judith Palacio e Isabel Salazar

En el caso de las endoprótesis, figura 28, además de que el material debe poseer la resistencia mecánica según las características funcionales de la prótesis y bajo peso, debe ser biocompatible, es decir, debe tener la habilidad de actuar con una adecuada respuesta al tejido biológico con el cual comparte una interfase; de lo contrario, el organismo puede causar corrosión en los componentes del implante o por el contrario es el implante el que causa el envenenamiento del tejido vivo. En este último caso, los productos de degradación del material no deben originar toxicidad. Entre los materiales biocompatibles se encuentran los poliméricos, metálicos, cerámicos, y los compuestos. Los poliméricos son ampliamente usados en la clínica por su gran versatilidad de fabricación, se pueden obtener productos conformados en fibras, tejidos, películas o bloques. Entre los metálicos se encuentran el acero 316 y el 316 L, aleaciones de titanio Ti6Al4V y las de CoCr, muy utilizados en implantes que deban soportar cargas. Los cerámicos o biocerámicos son generalmente utilizados en implantes que no deben soportar cargas debido a su fragilidad, especialmente cuando las cargas son de tensión o flexión. Funcionan bien cuando están sometidas a cargas de compresión, como es el caso de la alúmina y la zirconia empleadas en articulaciones de cadera. Otras cerámicas biocompatibles son la hidroxiapatita y el fosfato tricálcico.

Figura 27.
Exoprótesis transtibial infantil para niños. *

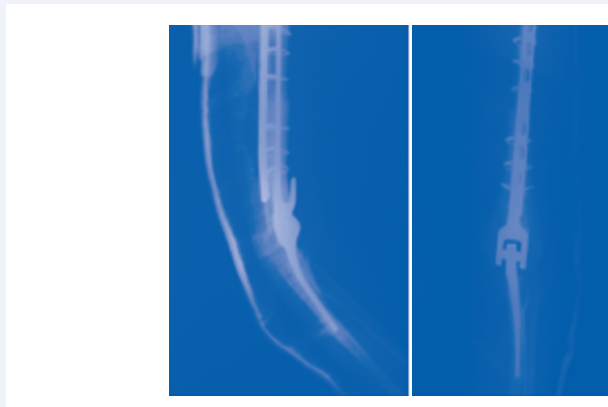


Autores: María Fernanda Suescúm y María Fernanda Berbesí

* Desarrollada por María Fernanda Suescúm y María Fernanda Berbesí.

En el caso de las prótesis metálicas, uno de los métodos de fabricación usado es el mecanizado por una máquina de Control Numérico Computarizado (CNC) en donde es importante conocer los parámetros de corte del material que se va a mecanizar. Otro método de fabricación utilizado es el de fundición por cera perdida; aquí es posible utilizar los modelos geométricos 3D obtenidos en máquinas de prototipaje rápido para la obtención del molde. En una de las tecnologías de Prototipaje rápido, conocida como Electron Beam Meeting (EBM), es posible obtener modelos 3D directamente en aleaciones de titanio biocompatible siendo su principal desventaja el alto costo.

Figura 28.
Endoprótesis de codo



Autor: Juan Felipe Isaza

Caso de estudio

Con el propósito de realizar una demostración práctica, la metodología planteada se aplicó en el diseño de una prótesis de codo a la medida. Este caso de estudio describe la aplicación de la ingeniería inversa al diseño de una prótesis de codo personalizada, diseñada a partir de un estudio de Tomografía Axial Computarizada (TAC) del codo derecho sano, de una mujer de 25 años de edad, quien presenta ausencia total de movimiento de su codo izquierdo debido a una cirugía de extirpación de un tumor de células gigantes. La geometría de la articulación de codo se obtuvo mediante el procesamiento de imágenes médicas a partir del TAC y su posterior modelación 3D en

software de diseño asistido por computador (CAD) como Rapid Form 6 y SolidWorks 7. Se utilizó el software de Elementos Finitos (FEM) Ansys 10, para garantizar el correcto comportamiento estructural de la prótesis bajo ciertas cargas y condiciones de frontera. Se obtuvo un diseño que representó en gran medida la anatomía de la articulación de codo, cuya evaluación anatómica y funcional se realizó mediante la manufactura de la prótesis en una máquina de prototipaje rápido (RP) bajo la tecnología conocida como Fused Deposition Modeling (FDM), como paso previo de verificación y realización de cambios, antes de su fabricación real en un material biocompatible como la aleación de titanio (Ti-6Al-4V).

Prótesis

Una prótesis es definida como un dispositivo artificial diseñado para reemplazar o mejorar el funcionamiento de una parte del cuerpo humano. Cuando se habla de una prótesis a la medida se refiere específicamente a que la geometría de la misma reproduce algunas zonas de la geometría anatómica de un paciente. Para reproducir esta geometría es necesario realizar un procesamiento de las imágenes médicas ya sea de un estudio RM o TAC, de modo que se puedan obtener los segmentos y tejidos de interés, para ser importados a un sistema CAD /CAM en donde se optimiza el diseño y se definen los procesos de manufactura para su posterior fabricación.

Generalmente, los usos más frecuentes de las prótesis se dan en el reemplazo de ojos, brazos, manos, piernas, caderas, y a nivel craneofacial en el diseño de prótesis dentales, maxilofaciales y de segmentos de cráneo. Con respecto a las prótesis personalizadas, las mayores aplicaciones se dan en el área de prótesis craneales y de fémur/cadera. Desde hace 22 años, aproximadamente, se reportan estudios en donde se utilizan sistemas CAD/CAM para el diseño y fabricación de prótesis personalizadas. En 1986, Murphy, Kijewski, Chandler, entre otros, describieron un proceso de reconstrucción 3D de estructuras óseas a partir de imágenes TAC, para analizar, simular y diseñar determinados procedimientos quirúrgicos en ortopedia. Los autores concluyeron que la metodología utilizada representaba un gran potencial para mejorar los resultados en la implantación de la prótesis y la reducción en la morbilidad en los pacientes (Murphy *et al.*, 1986). En otras áreas, como la ocular y la máxilofacial, también

se reportan estudios de diseño de prótesis personalizadas. En el estudio de Woldford (Woldford *et al.*, 2003), diseñaron una prótesis de la articulación temporo-mandibular utilizando tecnología RP. En el estudio de Raizada, se describe el proceso de fabricación de una prótesis ocular personalizada, en estos casos no utilizan un estudio de TAC para obtener la geometría anatómica, sino que realizan una impresión de la cavidad ocular para obtener un molde (Raizada *et al.*, 2007).

En cuanto a las prótesis de codo no se encontraron artículos sobre diseño de prótesis a la medida. En la literatura científica consultada, se reporta una variedad de estudios en donde se destaca la utilización de la prótesis no personalizada conocida como *Semiconstrained Coonrad-Morrey Total Elbow Protesis*, implantada en pacientes con diferentes patologías como artrosis postraumática (Schneeberger *et al.*, 2007), artritis reumatoidea (Gill y Morrey, 1998), fractura distal del húmero en pacientes con edad avanzada (Cobb y Morrey, 1997) y artroplastia en codos rígidos y flexibles entre otras (Mansat y Morrey, 2000). En el estudio de Rolf (Rolf *et al.*, 2004) se reporta la utilización de una prótesis a la medida en pacientes con carcinoma de células renales. En realidad, no es una prótesis totalmente diseñada a la medida sino una modificación de la prótesis comercial GSB-I (Centerpulse, Oberwinterthur, Switzerland), adecuada según la patología de cada paciente evaluado. En otros estudios se emplearon prótesis denominadas GSB-III (Sulzer Orthopedics Inc, Winterthur, Switzerland) utilizada desde 1978 (Bell *et al.*, 1986), (Schneeberger *et al.*, 2000). En el estudio de Herren (Herren *et al.*, 2004), el propósito fue la comparación de la cinemática y la estabilidad de la prótesis con respecto a la de un codo normal. En el estudio de Herren (Herren *et al.*, 2004), se realiza una modificación del diseño de la prótesis GSB-III sobre la reconstrucción 3D del húmero de un cadáver. En dicha investigación se limitan a la construcción del modelo geométrico y a su análisis por el método de elementos finitos. En el estudio de Valstar (Valstar *et al.*, 2000), se utilizó una prótesis total de codo llamada Souter-Strathclyde utilizada también en los estudios de Pöll y Dainton, respectivamente, (Pöll y Rozing, 1991), (Dainton y Hutchins, 2002), cuya principal ventaja, según el estudio de Van der Lugt es la pequeña cantidad de hueso que debe ser eliminado para la inserción de los dos componentes principales húmero/cúbito que se implantan en cirugía (Van der Lugt y Rozing, 2006). A nivel latinoamericano se

reporta el estudio realizado por ingenieros y médicos de la Universidad de Piura y la Clínica San Miguel en Perú, presentado en el 8° Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica. En este artículo se presenta el diseño de una prótesis femoral personalizada, de una paciente con subluxación congénita. El proceso llega hasta la simulación de la fabricación por CNC de la prótesis en el software Surfcam. A nivel nacional, sólo se encontró el estudio realizado por ingenieros de la Universidad EAFIT en Colombia (Rodríguez *et al.*, 2005) en el cual se diseñó una prótesis personalizada de cráneo, cuyo prototipo fue fabricado en resina poliéster mediante tecnologías CAD/CAM/CNC.

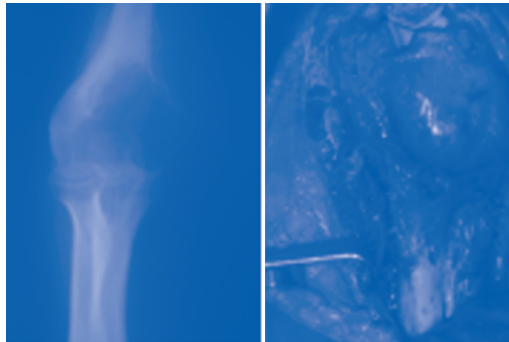
El propósito de este estudio fue verificar la viabilidad de realizar una aplicación del diseño de una prótesis personalizada de codo, utilizando tecnología disponible en Colombia, y a su vez crear evidencia técnica sobre el proceso completo de diseño que comenzó con la toma de un estudio de TAC y terminó con una prueba de manufactura.

Materiales y métodos

Descripción del paciente

El diseño de la prótesis personalizada de codo se realizó a partir de un estudio de TAC, de una mujer adulta de 25 años, afectada por un tumor de células gigantes, figura 29, en la articulación del codo derecho.

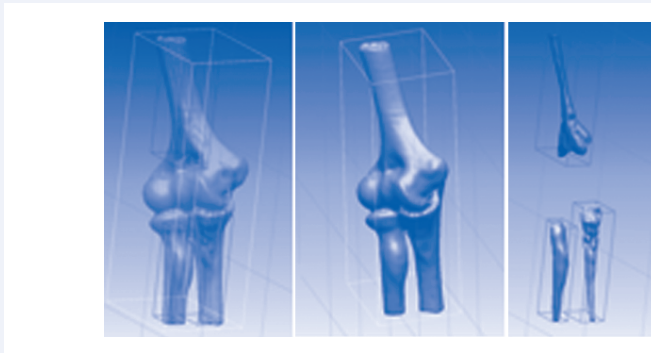
Figura 29.
Tumor de células gigantes



Procesamiento de imágenes médicas y reconstrucción 3D

Las imágenes almacenadas en formato DICOM fueron procesadas usando el software de Ingeniería Inversa Rapid Form 2006 (Inus Technology, Seoul, Korea) en el cual se realizó una segmentación para obtener la geometría de los huesos que conforman la articulación del codo. De esta forma, se obtuvieron los modelos en facetas, figura 30, de las estructuras anatómicas de interés, tanto del hueso cortical como del hueso esponjoso.

Figura 30.
Modelos en facetas de las estructuras de interés



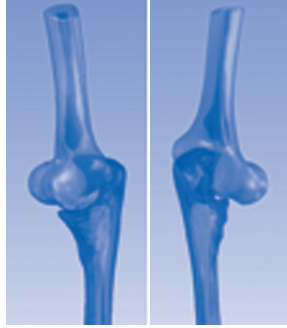
Autor: Juan Felipe Isaza

Obtención de las geometrías básicas para el diseño de la prótesis

A partir de los modelos en facetas se crearon superficies paramétricas, figura 31, del húmero y el cúbito. La geometría del radio se eliminó, ya que no interviene en el diseño final de la prótesis. Posteriormente, las superficies que componen el hueso cortical y esponjoso del húmero y el cúbito se guardaron individualmente en formato *.iges y se exportaron a SolidWorks 2007 (SolidWorks Corporation, Massachusetts, USA).

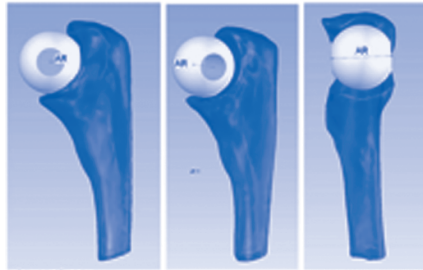
El primer paso fue la identificación del eje de rotación de la articulación húmero/cúbito, el cual se obtuvo modelando una esfera que se ajustara a la superficie de la apófisis coronoides del cúbito, como se aprecia en la Figura 32. En la figura 33 se puede observar cómo dicha esfera se superpone con el cóndilo del húmero.

Figura 31.
Modelo geométrico importado a Solid Works 7



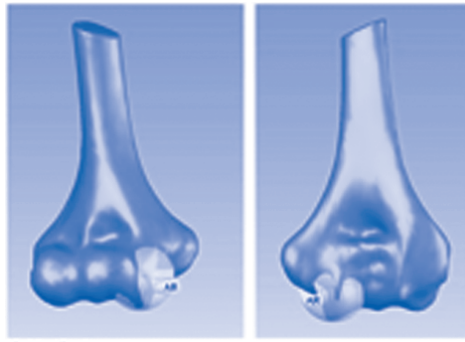
Autor: Juan Felipe Isaza

Figura 32.
Eje de rotación húmero/cúbito



Autor: Juan Felipe Isaza

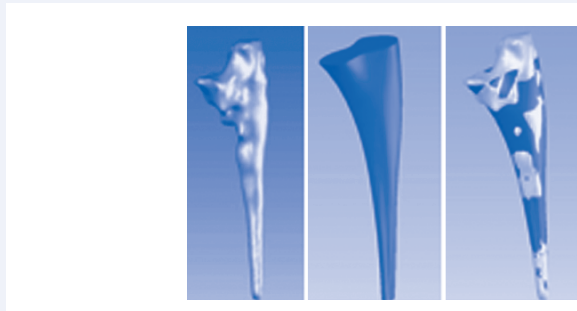
Figura 33.
Eje de rotación húmero/cúbito



Autor: Juan Felipe Isaza

El mismo procedimiento fue utilizado para modelar las zonas de las prótesis insertadas en las cavidades cuyas geometrías corresponden al hueso esponjoso del cúbito y el radio como se observa en la figura 34.

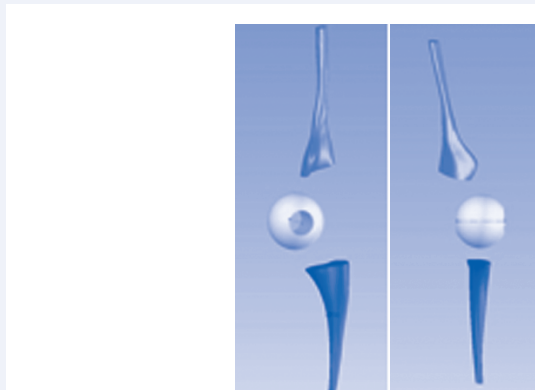
Figura 34.
Hueso esponjoso del cúbito



Autor: Juan Felipe Isaza

Manteniendo como geometrías base, la esfera cuyo centro contiene el eje de rotación húmero/cúbito y las geometrías del hueso esponjoso del húmero y el cúbito, figura 35, es posible realizar diferentes alternativas de diseños de prótesis.

Figura 35.
Geometrías base para el diseño de la articulación

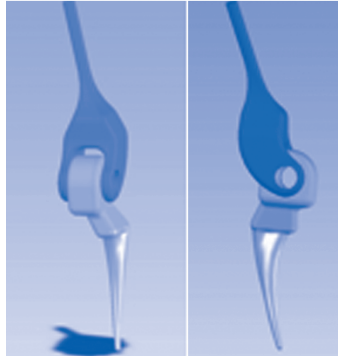


Autor: Juan Felipe Isaza

Generación de alternativas de diseño

A partir de esta etapa se plantearon tres alternativas de diseño, figura 36, que fueron evaluadas por el ortopedista. La primera fue desechada debido a que contó con mayor cantidad de componentes, combina dos materiales distintos, y además es la que reproduce en menor medida la anatomía del paciente.

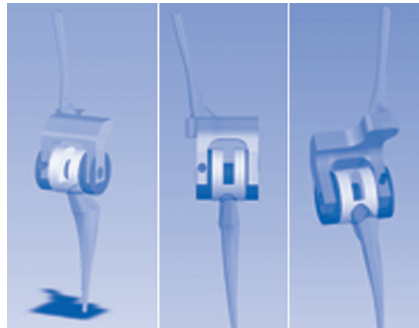
Figura 36.
Alternativa 1



Autor: Juan Felipe Isaza

La segunda opción, figura 37, aunque presentó una mayor facilidad de fabricación, se descartó ya que el paciente presenta ausencia total de la cabeza del húmero, por lo tanto esa zona debe reproducirse a partir de la anatomía del codo sano.

Figura 37.
Alternativa 2



Autor: Juan Felipe Isaza

La tercera, figura 38, que finalmente fue seleccionada, tuvo como desventaja principal una mayor dificultad de fabricación y mayor cantidad de material. A su vez, presenta como ventaja la capacidad de reproducción de la anatomía original del paciente. A continuación se describe su proceso de modelación 3D: se modeló la geometría de las tres piezas que conforman la articulación cuyo mecanismo es análogo al de una bisagra y está conformado por las partes que reemplazan al húmero, al cúbito y al buje que los une. En la primera pieza, debido a que la paciente tuvo una resección completa de la cabeza del húmero, se decidió conservar la anatomía original de la cabeza del húmero, que se obtuvo con la reconstrucción 3D de su articulación de codo derecho. A esta pieza se le realizaron dos extrusiones de corte, una para el ensamble del buje y otra para permitir la rotación de la pieza que reemplaza al cúbito. Además, se realizó un cambio de sección del hueso, esta región de la geometría es la que se inserta dentro de la cavidad ocupada por el hueso esponjoso del húmero.

Figura 38.
Alternativa 3. Pieza que reemplaza al húmero



Autor: Juan Felipe Isaza

Al componente de la bisagra que reemplaza al cúbito, figura 39, también se le realizó la perforación por donde pasa el buje de unión y se le redondearon las aristas agudas para que no interfiriera con la anatomía del paciente en el momento de la implantación.

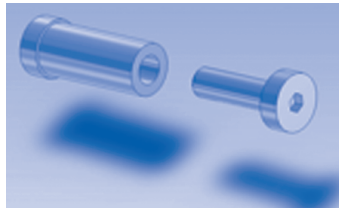
Figura 39.
Alternativa 3. Pieza que reemplaza al cúbito



Autor: Juan Felipe Isaza

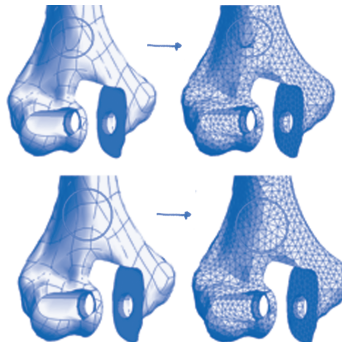
El diseño del buje consta de dos piezas cilíndricas. La primera posee una rosca interna en donde se rosca la segunda pieza tal como se observa en la figura 40. En la figura 41 se observa el ensamble final de la alternativa seleccionada.

Figura 40.
Alternativa 3. Bujes



Autor: Juan Felipe Isaza

Figura 41.
Alternativa 3. Húmero (h), cúbito (c) y buje (us)



Autor: Juan Felipe Isaza

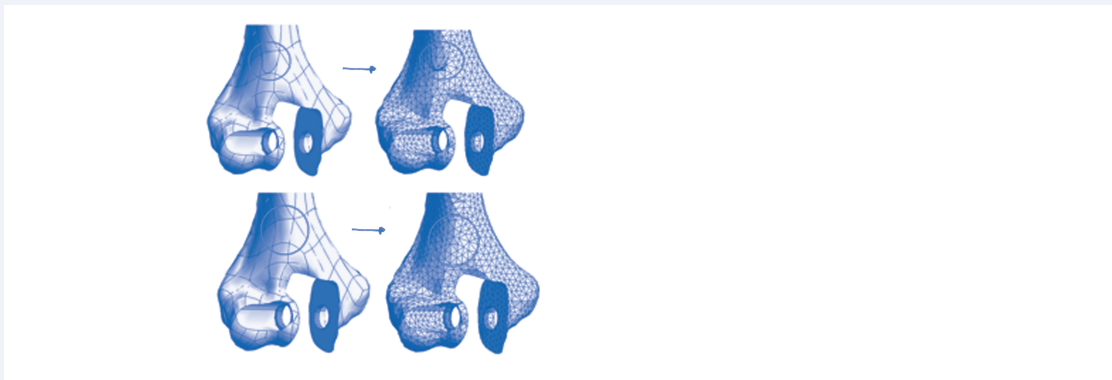
Generación del modelo de elementos finitos

Una vez modelada la prótesis, se procedió a realizar una evaluación de su resistencia mecánica mediante un análisis (FEM) en el software GID 8.0 y ANSYS 10. El modelo (FEM), involucró dos tipos de materiales: hueso cortical y la aleación de titanio (Ti-6Al-4V). Las propiedades mecánicas utilizadas fueron tomadas de la literatura (Herren *et al.*, 2004). GID 8.0 fue utilizado para la optimización de la geometría y la realización de la malla. Primero, se enviaron a GID 8.0 las piezas que conforman la prótesis en formato *.Iges., la totalidad de la geometría fue exportada como superficies.

Corrección de superficies

Una vez exportada la geometría en GID 8.0, se realizaron mallas de prueba para identificar errores en los parches de superficies que las conforman, tales como ángulos agudos, líneas fragmentadas y superposición de puntos. Una vez identificados los parches de superficies, fueron transformados en figuras cuadradas y rectangulares, figura 42, que permitieran, a posteriori, la creación de mallas de elementos finitos, estructuradas con buena relación de aspecto en los elementos, desviaciones paralelas admisibles y ángulos en las esquinas adecuados. Terminado este proceso, se procedió a la generación de los volúmenes de cada estructura craneofacial.

Figura 42.
Parches de superficie defectuosos y transformación en parches cuadrados y rectangulares

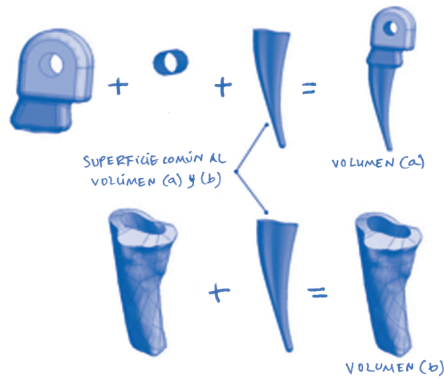


Autor: Juan Felipe Isaza

Generación de volúmenes y malla final

Posteriormente, se armaron los volúmenes respectivos a cada pieza, figura 43, cada uno conformado por un conjunto de capas de superficies diferenciadas por nombre y color, algunas de ellas comunes a varios volúmenes en las zonas en donde comparten interface. Con la diferenciación de superficies comunes, se garantizó que cada estructura, en su interface, compartiera los mismos nodos al momento de mallar.

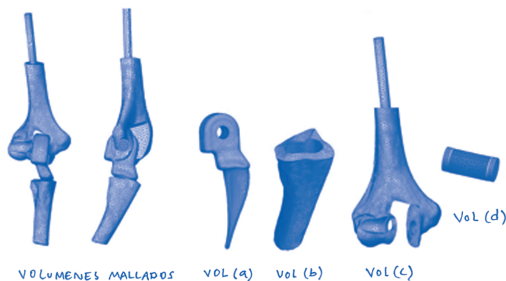
Figura 43.
Conformación de volúmenes



Autor: Juan Felipe Isaza

Una vez organizadas las capas, se malló toda la estructura. Cada volumen fue mallado con elementos tetraedros de alto orden (10 nodos) como se aprecia en la figura 44. El paso siguiente fue exportar los volúmenes mallados a un programa de elementos finitos.

Figura 44.
Volúmenes mallados en GID 8.0

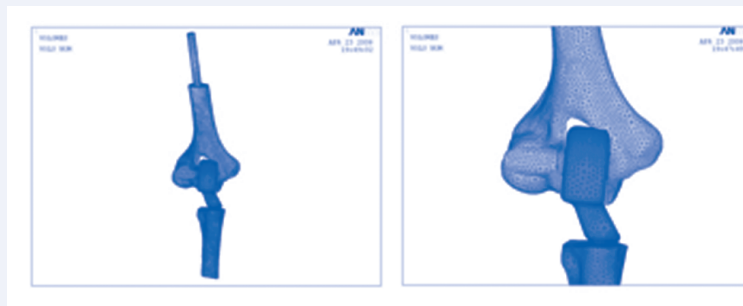


Autor: Juan Felipe Isaza

Interface GID 8.0 - ANSYS 10

Utilizando el lenguaje de programación de GID 8.0, se generaron archivos de texto que contienen la información de la malla de elementos finitos, esto es, coordenadas nodales y conectividades elementales. Posteriormente, estos archivos se leyeron con MATLAB 6.0 para generar un archivo de compatibilidad con ANSYS 10.0 en APDL (Ansys Parametric Design Language). Este último archivo es leído directamente por ANSYS 10, obteniéndose la malla de elementos finitos en dicho programa, figura 45, lista para imponer propiedades de material, condiciones de contorno y cargas.

Figura 45.
Malla exportada a ANSYS 10



Autor: Santiago Correa Vélez

Propiedades mecánicas

Se asignaron las propiedades mecánicas del hueso cortical del húmero y el cúbito reportadas en el estudio de Herren (Herren *et al.*, 2004) las propiedades de la aleación de Titanio (Ti-6Al-4V) fueron tomadas de la base de datos (www.matweb.com), mostradas en la tabla 1.

Tabla 1.
Propiedades mecánicas

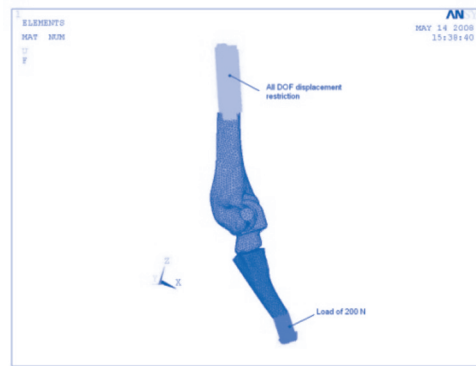
	MÓDULO DE ELASTICIDAD (GPa)			MÓDULO DE RIGIDEZ AL CORTANTE G (GPa)			RELACIÓN DE POISSON ν
		Y	Z	Y	Z		
HUESO CORTICAL	1.5	11,5	7	,92	,42	,42	0,35
ALEACIÓN de Titanio (Ti-6Al-4V)	113,8			44			0,342

Autor: Juan Felipe Isaza

Cargas y restricciones

Una restricción de desplazamiento en todos los grados de libertad fue aplicada en la región cilíndrica del húmero, esta región representó la parte de la prótesis insertada en la cavidad que corresponde al hueso esponjoso del húmero. Se aplicó una carga de 200N en la dirección del eje axial del cúbito. La misma se aplicó en la sección cortical, como se observa en la Figura 46.

Figura 46.
Condiciones de frontera



Autor: Santiago Correa Vélez

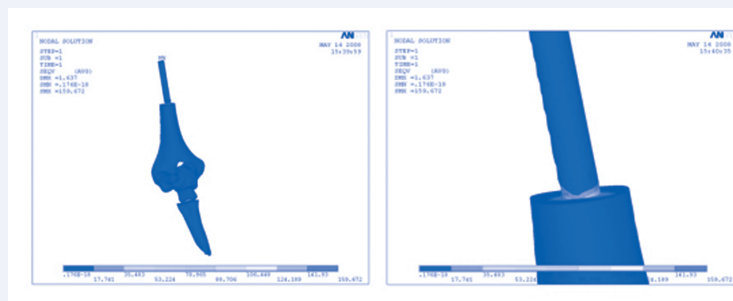
Evaluación anatómica y funcional

Con el propósito de hacer una evaluación anatómica y funcional de la prótesis diseñada, se fabricó un prototipo rápido de la articulación bajo de la tecnología (FDM) en una máquina DIMENSION SST 1200es.

Resultados

El diseño final de la prótesis está compuesto por: húmero (u), cúbito (u) y buje (un). El esfuerzo máximo de von Mises fue de 159.672 MPa, localizado en el cambio de sección del húmero, figura 47. El esfuerzo de cedencia de la aleación de Titanio (Ti-6Al-4v) es de 880 MPa, lo que significa que la prótesis posee un factor de seguridad de 5,5. El esfuerzo máximo de la prótesis podría ser reducido haciendo un redondeo en dicha zona.

Figura 47.
Esfuerzos equivalentes



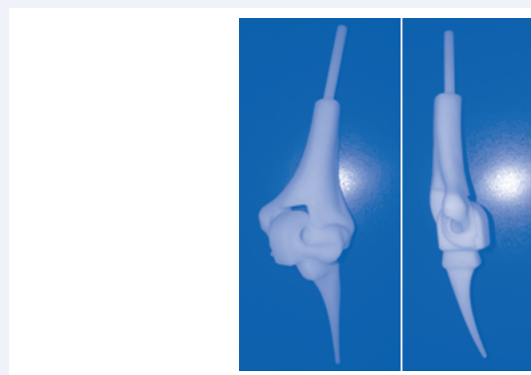
Autor: Santiago Correa Vélez

Prueba de manufactura

Teniendo en cuenta la complejidad geométrica del diseño final y pensando en una eventual manufactura en el material real, se decidió realizar una prueba de mecanizado en CNC. El primer paso fue la selección de uno de los componentes de la prótesis. El componente que reproduce la anatomía del húmero fue seleccionado por ser el de mayor complejidad geométrica. La prueba fue realizada en espuma de poliuretano, el código ISO para la fabricación fue obtenido en el Software MASTERCAM y finalmente la pieza fue manufacturada en la máquina de control numérico BENCHMAN XT.

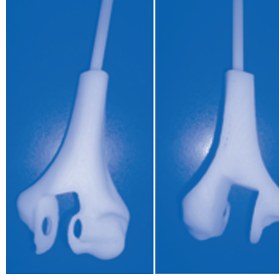
Se realizó un prototipo rápido de la articulación diseñada, figuras 48 a 50, que facilitó su evaluación funcional y anatómica, con resultados satisfactorios.

Figura 48.
Prototipo rápido de la articulación diseñada



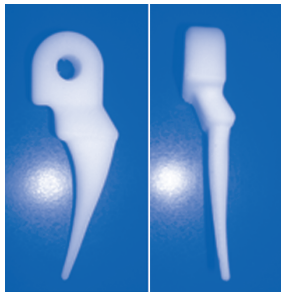
Autor: Juan Felipe Isaza

Figura 49.
Pieza que representa al húmero



Autor: Juan Felipe Isaza

Figura 50.
Pieza que representa al húmero



Autor: Juan Felipe Isaza

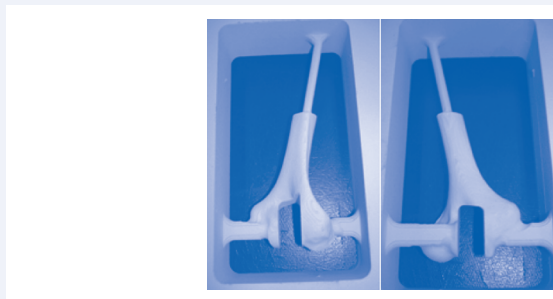
En la prueba de manufactura por CNC, figuras 51 y 52, la máquina reprodujo satisfactoriamente la pieza con mayor complejidad.

Figura 51.
Prueba de maquinado en CNC



Autor: Juan Felipe Isaza

Figura 52.
Prueba de maquinado en CNC



Autor: Juan Felipe Isaza

Discusión

Este trabajo demuestra la viabilidad parcial de aplicar la ingeniería inversa al diseño prótesis a la medida, a partir del procesamiento de imágenes médicas, utilización de software de ingeniería inversa, cálculos estructurales por el método de elementos finitos y el uso de tecnologías de manufactura avanzada como el prototipaje rápido, utilizando tecnología disponible en Colombia. La principal falencia para llegar a un producto que pueda ser implantado radica en su manufactura final, en primera instancia si el método de fabricación seleccionado fuera el CNC, se necesitaría un bloque de Ti-6Al-4V de grandes dimensiones para poder establecer un agarre efectivo y así poder maquinar sin problemas, esto se considera un problema ya que este material y en general los que tienen propiedades de biocompatibilidad son costosos. Además, por ser un material poco utilizado para la fabricación de productos en la industria local, en general se evidencia una falta de conocimiento de sus parámetros de corte. Si eventualmente la prótesis fuera fabricada mediante fundición, la falencia encontrada radica en la ausencia de hornos en la industria local que alcancen la temperatura de fundición del Ti-6Al-4V alrededor de los 1.500° C y que además puedan fundir la cantidad necesaria de material para fabricarlas.

Con la determinación de las geometrías básicas de la prótesis, en este caso el eje de rotación del codo y las cavidades de los huesos esponjosos del húmero y el cúbito se pueden explorar variedad de

alternativas de diseño. Con el prototipo rápido se pudo verificar el correcto funcionamiento de la articulación, e identificar y mejorar algunos aspectos que fueron omitidos en los modelos virtuales, también fue un medio de comunicación efectivo y rápido entre ingenieros y especialistas de la salud. Con el análisis de elementos finitos se pudo garantizar el buen comportamiento estructural de la prótesis. Como trabajo futuro en este aspecto se debe investigar más a fondo la biomecánica del codo con el propósito de realizar una asignación de sus condiciones de frontera, cada vez más reales. Además de ejecutar simulaciones de su comportamiento a la fatiga.

Finalmente se concluye que la metodología utilizada para el diseño de la prótesis de articulación de codo tratada en esta investigación, podría extenderse a otras articulaciones y partes del cuerpo humano. A futuro se pretende poder llevar este tipo de aplicaciones hasta la fabricación e implantación de la prótesis con el propósito de ir creando una industria nacional en este campo con un contenido científico y social, inexistente en la actualidad.

Agradecimientos

Especial agradecimiento a Industrias Médicas Sampedro S.A., al Dr. Jorge López y al Laboratorio de Máquinas y Herramientas de la Universidad EAFIT.

Bibliografía

Bathe, J.K., *Finite Element Procedures in Engineering Analysis*, (ISBN 0-13-317305-4), Nueva Jersey, Prentice Hall, 1982.

Beek, M., J.H. Koolstra, L.J. Van Ruijven, y T.M. Van Eijden, "Three-dimensional finite element analysis of the human temporomandibular joint disc", *Journal of Biomechanics*, (ISSN 0021-9290), 33(3): 307-316, 2000.

Bell, S., N. Gschwend y U. Steiger, "Arthroplasty of elbow. Experience with the Mark III GSB Prosthesis", *Australian and New Zeland Journal of Surgery*, 56: 823-7, 1986.

Binder T.M., D. Moertl, G. Mundigler, G. Rehak, M. Franke, G. Karth, W. Mohl, H. Baumgartner y G. Maurer, "Stereolithographic biomodeling to create tangible hard copies of cardiac structures

- from echocardiographic data: In vitro and in vivo validation", *Journal of the American College of Cardiology*, 35(1): 230-237, 2000.
- Brekelmans, W.A., H.W. Poort y T.J. Slooff, "A new method to analyse the mechanical behaviour of skeletal parts", *Acta Orthopaedica Scandinavica*, (ISSN 0001-6470), 43(5): 301-317, 1972.
- Cobb T.K y B.F. Morrey, "Total elbow arthroplasty as primary treatment for distal humeral fractures in elderly patients", *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 79: 826-31, 1997.
- Correal, S., L.J. Palacio, I.C. Salazar, "Análisis FEA de prótesis de rodilla policéntrica", *Avances en sistemas e informática Universidad Nacional*, 3(1): 35-38, 2006.
- Chen, J., U. Akyuz, L. Xu y R.M.V. Pidaparti, "Stress analysis of the human temporomandibular joint", *Medical Engineering and Physics*, (ISSN 1350-4533), 20(8): 565-572, 1998.
- Dainton J.N. y P.M. Hutchins, "A medium-term follow-up study of 44 Souter-Strathclyde elbow arthroplasties carried out for rheumatoid arthritis", *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 11(5): 486-492, 2002.
- Defrise M., "A short reader's guide to 3D tomographic reconstruction. Computerized Medical Imaging and Graphics", (ISSN 0895-6111), 25(2): 113-116, 2001.
- D'Urso P.S, T.M. Barker, J. Earwaker, L.J Bruce, R.L. Atkinson, M.W Lanigan, J.F. Arviery J.D. Effenev, "Stereolithographic biomodelling in cranio-maxillofacial surgery: a prospective trial", *Journal of Cranio Maxillofacial Surgery*, 27(1): 30-37, 1999.
- Erickson D.M, D. Chance, S. Schmitt y J. Mathts, "An opinion survey of reported benefits from the use of stereolithographic models." *Journal of Oral and Maxillofacial SuFry*, 57(9): 1040-1043, 1999.
- Farber J., B.P. Medeiros y M. Cuaresma, "Rapid prototyping as a tool for diagnosis and treatment planning for maxillary canine impaction", *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2129(4): 583-589, 2006.

- Gill D.R.J y B.F. Morrey, "The Coonrad-Morrey total elbow arthroplasty in patients who have rheumatoid arthritis", *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 80:1327-34, 1998.
- Graham, R.N.J., R.W. Perriss y A.F. Scarsbrook, "DICOM demystified: A review of digital file formats and their use in radiological practice", *Clinical radiology* (ISSN 0009-9260), 60: 1113-1140, 2005.
- Heckmann, S.M, Winter, W., Meyer, M., Weber, H.P., Wichman, M.G., "Overdenture attachment selection and the loading of implant and denture bearing area. Part 1: *In vitro* verification of stereolithographic model", *Clin. Oral Impl. Res.* 12: 617, 2001
- Herren, D. B., H. Ploeg, D. Hertig y R. Klabunde, "Modeling and finite element analysis of a new revision implant for the elbow", *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 420: 292-297, 2004.
- Isaza, J.F., Naranjo, M., "Prototipaje rápido de estructuras craneo faciales". *Ingeniería y Ciencia*, 4(8): 27-43, 2008.
- Lacroix, D., A. Chateau, M. Ginebra y J. A. Planell, "Micro-finite element models of bone tissue-engineering scaffolds". *Biomaterials* (ISSN 0142-9612), 27(30): 5326-5334, 2006.
- Magne, P., "Efficient 3D finite element analysis of dental restorative procedures using micro-CT data", *Dental Materials* (ISSN 0109-5641), 23(5): 539-548, 2007.
- Mansat P y B. F. Morrey, "Semiconstrained total elbow arthroplasty for ankylosed and stiff elbows", *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 82: 1260-7, 2000.
- Minns R.J, R. Bibb, R. Banks y R.A. Sutton, "The use of a reconstructed three-dimensional solid model from CT to aid surgical management of a total knee arthroplasty: A case study." *Medical Engineering Physics*, 25:523, 2003.
- Murphy S.B., P.K. Kijewski, S.R. Simon, H.P. Chandler, P.P. Griffin, D.T. Reilly, B.L. Penenberg y M.M. Landy, "Computer-aided simulation,

- analysis, and design in orthopedic surgery", *Orthopedic Clinics of North America*, 17(4): 637-649, 1986.
- Nagasao, T., M. Kobayashi, Y. Tsuchiya, T. Kaneko, y T. Nakajima, "Finite element analysis of the stresses around endosseous implants in various reconstructed mandibular models", *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery* (ISSN 1010-5182), 30(3): 170-177, 2002.
- Petzold R, H.F. Zeilhofer y W.A. Kalender, "Rapid prototyping technology in medicine basics and applications", *Computerized Medical Imaging and Graphics*, 23 (5): 277-284, 1999.
- Pham D.T, y R.S. Gault, "A comparison of rapid prototyping technologies", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 38 (10-11): 1257-1287, 1998.
- Pöll R.G y P.M. Rozing, "Use of the Souter-Strathclyde total elbow prosthesis in patients who have rheumatoid arthritis", *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 73 (8): 1227-33, 1991.
- Raizada K. y D. Rani, "Ocular prosthesis", *Contact Lens and Anterior Eye*, 30 (3):152-162, 2007.
- Robinson, J., *Basic and Shape Sensivity Tests for Membrane and Plate Bending, Finite Elements*, Robinson & Associates, 1985.
- Rodríguez C, I. López, A. Sierra y J. Maya, "Metodología para la manufactura de implantes craneales a partir de imágenes DICOM y tecnologías CAD/CAM/CNC", *Revista de Ingeniería y Ciencias Universidad EAFIT*, 1(2): 53-56, 2005.
- Rolf, O., Gohlke, F., "Endoprosthetic elbow replacement in patients with solitary metastasis resulting from renal cell carcinoma", *J. Shoulder and Elbow Surgery Board of Trustees*, 13(6): 656-663, 2004.
- Schneeberger A.G., R. Hertel y C. Gerber, "Total elbow replacement with the GSB-III prosthesis", *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 9, (2): 135-139, 2000.
- Schneeberger A.G., D. C. Meyer y E. H. Yian, "Coonrad-Morrey total elbow replacement for primary and revision surgery:

A 2- to 7.5-year follow-up study", *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 16(3)- 1: S47-S54, 2007.

Subburaj K, C. Nair, S. Rajesh, S.M. Meshram y B. Ravi, "Rapid development of auricular prosthesis using CAD and rapid prototyping technologies", *International Journal of Oral & Maxillofacial Surgery*, In Press, Corrected Proof, 2007.

Taylor, R.L., J.C. Simo, O.C. Zienkiewicz y A.C.H. Chan, "The patch test - a condition for assessing FEM convergence", *International Journal for Numerical Methods* (ISSN 0029-5981), 22: 39-62, 1986.

Tellis B.C, J.A. Szivek, C.L. Bliss, D.S. Margolis, R.K. Vaidyanathan y P. Calvert, "Trabecular scaffolds created using micro CT guided fused deposition modeling", *Materials Science and Engineering: C*, In Press, Corrected Proof, 2007.

Van der Lugt J.C.T. y P.M. Rozing. "Outcome of revision surgery for failed primary Souter-Strathclyde total elbow prosthesis", *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 15 (2): 208-214, 2006.

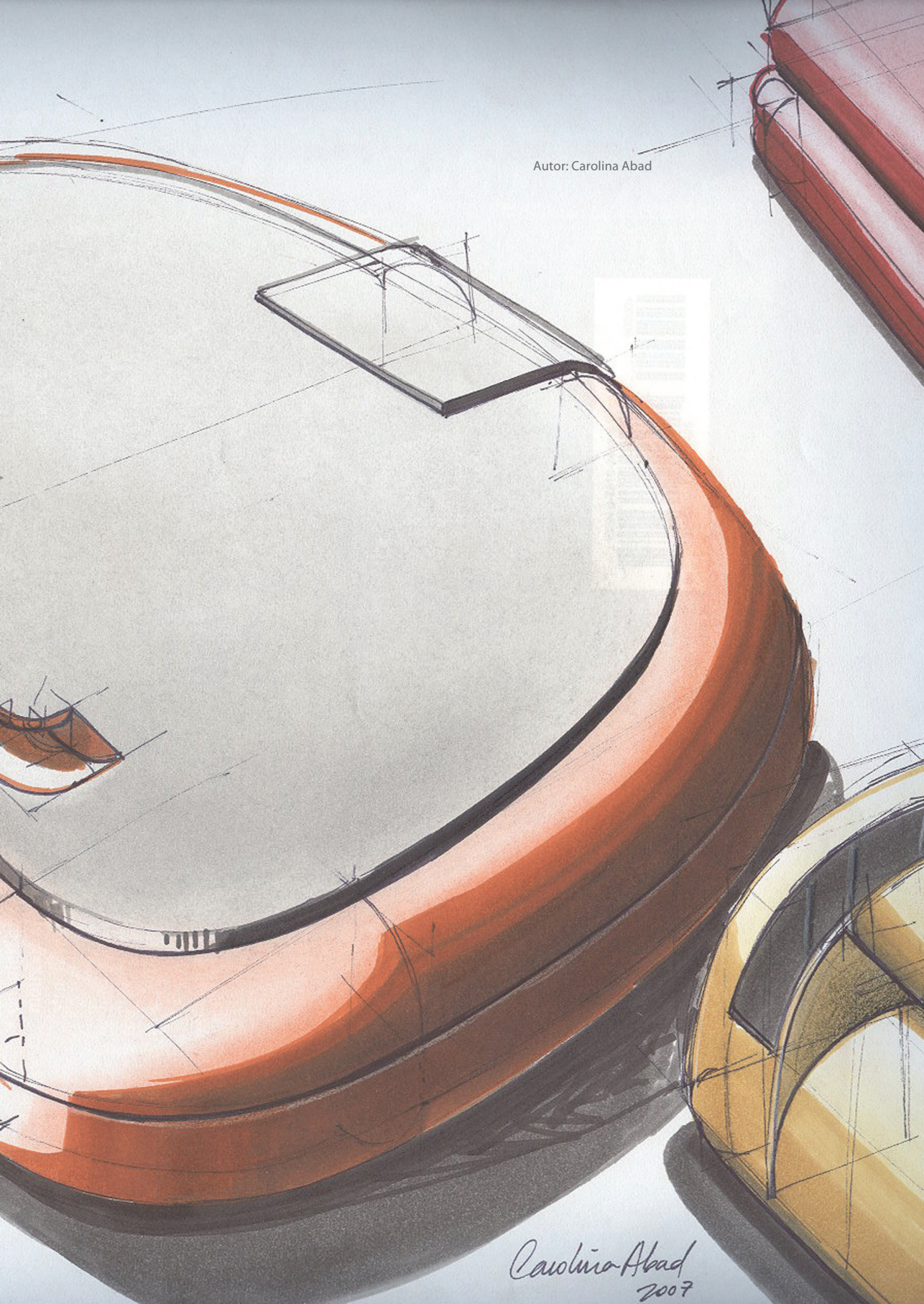
Valstar, E. R., E.H. Garling y P.M. Rozing, "Micromotion of the souter-strathclyde total elbow prosthesis in patients with rheumatoid arthritis: 21 elbows followed for 2 years", *Acta Orthopaedica Scandinavica*, 73(3): 264-272, 2000.

Webb P.A. "A review of rapid prototyping (RP) techniques in the medical and biomedical sector", *Journal of Medical Engineering and Technology*, 24:149-153, 2000.

Wetzel S.G, M. Ohta, A.Handa, J.M. Auer, P. Lylyk, K. Lovblad, D. Babic y D.A. Rufenacht, "From patient to model: Stereolithographic modeling of the cerebral vasculature based on rotational angiography", *Am J Neuroradiol*, 26:1425-1427, 2005.

Wolford L.M., M.C.Pitta, O.Reiche-Fischely P.F.Franco, "TMJ Concepts/ Techmedica custom-made TMJ total joint prosthesis: 5-year follow-up stud", *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 32 (3): 268-274, 2003.

Zienkiewicz, O.C., R.L Taylor, *The Finite Element Method*, vol. 1, (ISBN 0750650494), Butterworth-Heinemann, 2000.

A detailed architectural sketch of a curved, bowl-like structure. The main body is colored in a vibrant orange, while a section on the right is yellow. The structure is defined by dark, expressive lines, with a prominent black line tracing the inner curve. A rectangular, wireframe-like structure is positioned above the main bowl. The background is a light, textured grey. The drawing style is a combination of pencil and colored pencil, with some areas showing cross-hatching and fine lines for shading and texture.

Autor: Carolina Abad

Carolina Abad
2007

MODELOS Y MEJORES PRÁCTICAS para el diseño globalizado

Ricardo Mejía Gutiérrez

Introducción

Durante los últimos decenios del siglo xx, la forma de diseñar y desarrollar productos ha experimentado una gran transformación. Este cambio se ha influenciado por el desarrollo de las tecnologías de información y comunicación (TICs), al igual que la evolución de los mercados globales que demandan productos innovadores, así como una mejora continua de los productos existentes.

Todo esto acarrea cambios en las empresas, puesto que el desarrollo de sus productos ya no será como lo era antes. Actualmente, los procesos de diseño y desarrollo de productos son un complejo proceso de colaboración entre diferentes actores, dentro o fuera de las empresas, las cuales tienden a trabajar, cada vez más, bajo el modelo de "Empresa extendida"² (Duffy y Tod, 2004).

Bajo este contexto de trabajo globalizado, un diseño eficaz implica, necesariamente, un proceso distribuido de competencias. La innovación proviene entonces de la interacción entre las culturas, los conocimientos, la información y las ideas. Este enfoque pluridisciplinario se basa en la integración de los diferentes conocimientos y del *know-how* lo más pronto posible en el ciclo de vida de un producto.

2 El término "Empresa extendida" (del inglés: Extended Enterprise) significa, en este contexto, que las empresas ya no se constituyen solamente de sus miembros, sino también por sus aliados, clientes y proveedores.

Ciclo de vida del producto

Definición y situaciones de vida

El concepto de “ciclo de vida” es utilizado para nombrar el conjunto de las etapas recorridas por una entidad determinada, desde el comienzo hasta el fin de su existencia. Este concepto aplica a diferentes entidades como personas, objetos, organizaciones, proyectos, etc. En nuestro contexto, el término que nos interesa está ligado al diseño de un “producto”, de donde obtenemos el concepto de “ciclo de vida de un producto” (PLC).³ Este término fue introducido inicialmente en el dominio del Marketing por (Levitt, 1965) pero con el fin de analizar el volumen de ventas y los ingresos después de la liberación de un producto al mercado. En este contexto, Levitt propuso cuatro etapas de un producto en el mercado (introducción, crecimiento, madurez y declive). Sin embargo, el ciclo de vida no podía limitarse a la vida de un producto en el mercado. Los expertos en diseño se apropiaron del término pues se dieron cuenta de que el análisis de un producto debía ir más lejos para poder innovar y tomar decisiones más pertinentes, de acuerdo con los diferentes ambientes técnico-económicos a los que se enfrenta un producto.

Las etapas que componen el ciclo de vida extendido son llamadas “situaciones de vida” (AFNOR, 1991) las cuales corresponden a las diferentes fases de evolución de un producto desde su creación (necesidad) hasta su final de vida (desecho/reciclaje) como se muestra en la figura 1.

El producto recorre un conjunto de etapas dentro de la organización (bien sea una sola empresa, o un conjunto de empresas) hasta el momento de su venta (o transferencia al usuario) donde comienza la vida útil del producto. De esta forma, es posible identificar que el producto atraviesa, básicamente, dos tipos de entornos de características socio-económicas diferentes:

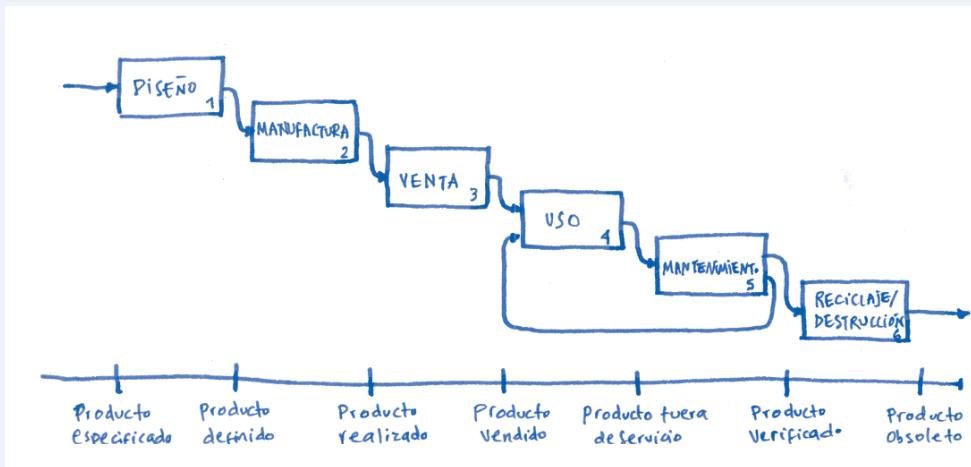
- Entornos industriales donde la interacción temprana se da entre los conocimientos técnicos de las personas que intervienen en el desarrollo del producto, así como interacciones físicas entre los materiales, máquinas y hombres que fabrican el producto.

3 De sus siglas en inglés: Product Life Cycle

- El mercado y el entorno de utilización que acoge el producto por razones funcionales y comportamentales.

El ciclo de vida es entonces de gran importancia para el análisis de problemas de diseño, pues cada "situación de vida" impone sus propios criterios de diseño. Según (Tipnis, 1999) el diseño y desarrollo integrado de productos proviene de la integración de todas las actividades, métodos, información y tecnologías que componen el ciclo de vida de un producto, el cual es una fuente de información preciosa, pero habitualmente descuidada por los equipos de diseño.

Figura 1.
Ejemplo básico del ciclo de vida y situaciones de vida de un producto



Autor: Ricardo Mejía Gutiérrez

Influencia de las modificaciones en diseño

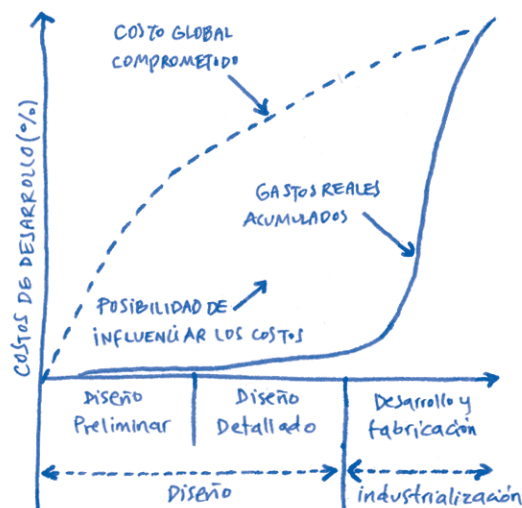
Tradicionalmente, el proceso de diseño se ha forjado con un enfoque "correctivo" (o reactivo). Es decir que las implicaciones de las decisiones de diseño se descubren en fases avanzadas del ciclo de vida, pudiendo haber sido analizados de manera "preventiva" en las fases tempranas del ciclo mismo. Esto genera un incremento en los costos al descubrir tardíamente un problema de diseño.

Estas consideraciones se justifican con los descubrimientos empíricos de los años ochenta hechos por (Huthwaite, 1988), (Whitney, 1988), (Cohodas, 1988), que demuestran que el costo de la fase de diseño

representa solamente el 5% del costo del producto propiamente dicho, pero determina el 75% de los costos comprometidos en la fabricación y el 80% del desempeño del producto en materia de calidad. Es claro entonces, que para reducir los costos de desarrollo de un producto, hay que desplazar lo más pronto posible el conjunto de modificaciones de diseño hacia las etapas iniciales del ciclo de vida, y evitar la realización tardía de las decisiones de diseño. Los gastos se hacen más significativos y las modificaciones más difíciles de implementar cuando éstas se imponen en las fases avanzadas del ciclo de vida.

Varios autores han analizado la influencia de los costos (gastos comprometidos) en comparación con los costos reales (gastos reales) en las fases preliminares del ciclo de vida (Decreuse y Feschotte, 1998; Riba-Romeva, 2002). La Figura 2 es adaptada de (Zimmer y Zlabit, 2001) tomada del sector aeronáutico. En ella se evidencia cómo los costos se hacen más importantes en la fase de industrialización en función de los gastos de herramental, moldes, materiales, maquinaria, producciones piloto, etc., y que al mismo tiempo aumentan la dificultad de realizar cambios de diseño (con respecto a los costos y el tiempo de implementación del cambio).

Figura 2.
Influencia de las modificaciones de diseño sobre la inversión



Es importante resaltar cómo las fases de diseño (inclusive desglosadas en el análisis de la necesidad, el diseño preliminar y el diseño detallado) permiten estudiar con detalle la implicación de las decisiones de diseño sin incurrir en gastos mayores, comparado con el precio del producto.

¿Cómo logramos realizar esto? Existen muchas maneras, pero las más útiles han sido los métodos de trabajo colaborativo. Esta forma de trabajo concurrente no ha sido siempre así. La ejecución del proceso de diseño ha experimentado una evolución, influenciada por la globalización de los mercados y el acceso a las tecnologías de información y comunicación.

Evolución del diseño

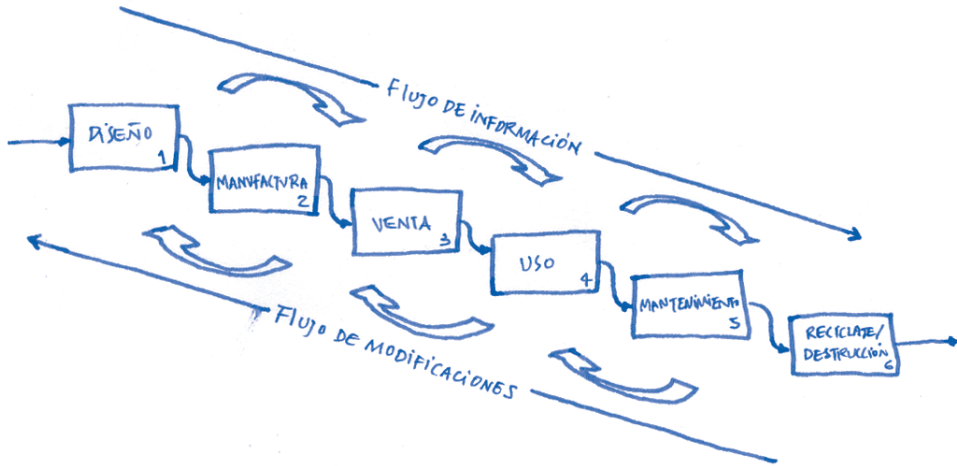
La forma en que se lleva a cabo el proceso de diseño evoluciona constantemente para enfrentarse a las exigencias de los clientes, del mercado y de la rápida evolución en materia de tecnología. Varios modelos han sido propuestos a lo largo de los años, comenzando desde el diseño secuencial hasta el diseño globalizado, pasando por el diseño concurrente y colaborativo.

Diseño secuencial

La mayoría de los procesos siguen un esquema secuencial. En el caso del desarrollo de productos, las diferentes etapas del diseño se llevan a cabo de forma consecutiva (una después de la otra). El producto es diseñado primero, y después los otros departamentos de la empresa agregan su contribución al diseño, siguiendo una secuencia de actividades. Las etapas se repiten según un esquema iterativo hasta obtener un resultado que satisface las restricciones de cada departamento, terminando cuando la última actividad de la cadena arroja dicho resultado. En este modelo, el flujo de información es lineal como se puede ver la figura 3. Cada decisión de diseño tomada en una etapa determinada del proceso, es completada o cuestionada por las decisiones realizadas en etapas posteriores del proceso (Clausing, 1997). Esta forma de trabajo es conocida como el diseño “sobre la pared” puesto que no hay una comunicación real entre los

diferentes grupos de especialistas repartidos en los diferentes niveles del proceso, donde la organización de los actores es dictada por la organización de las etapas de diseño.

Figura 3.
El proceso de diseño secuencial



Autor: Ricardo Mejía Gutiérrez

Esta forma de diseñar provee una fuerte contribución técnica a las decisiones, pero de manera global el proceso presenta muchas debilidades. Este modelo, lineal e iterativo, genera retrasos y costos elevados, puesto que la mayoría de cambios al diseño comienza a aparecer en la fase de fabricación o materialización, lo que implica regresar a las fases de diseño, ocasionando aumento de costos en los ciclos de rediseño (Fleming y Koppelman, 1996).

Diseño simultáneo

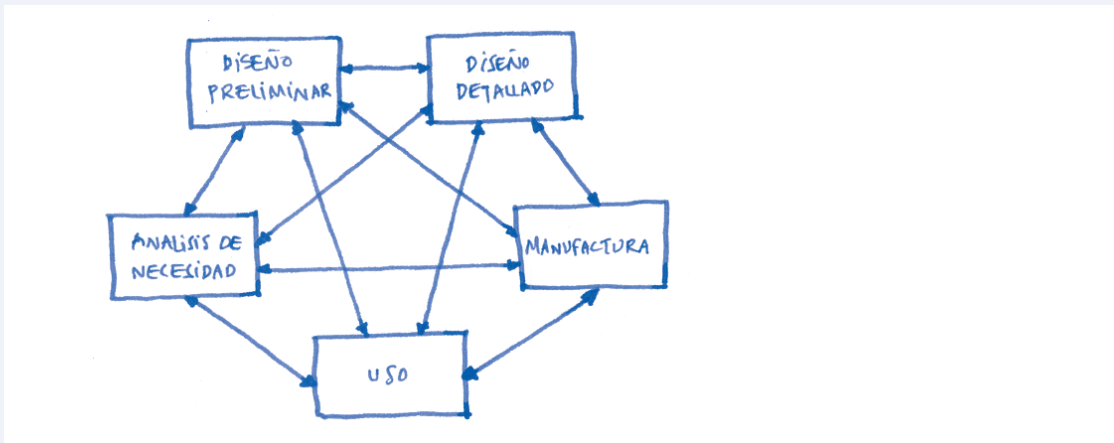
Contrario a la ingeniería secuencial, el proceso de diseño simultáneo propone, en la medida de lo posible, la ejecución de las diferentes fases del diseño de manera simultánea. La llamada realización en "paralelo" propuesta por este modelo, pretende recortar el tiempo de desarrollo con el fin de acelerar la puesta del producto en el mercado⁴

⁴ Término proveniente del inglés "time to market" utilizado para definir el tiempo de desarrollo de un producto, entre la idea/necesidad y el tiempo consumido hasta que el producto pueda ser lanzado al mercado.

(Charney, 1991). El modelo se concreta a través de una superposición de las etapas y la consideración de las diferentes disciplinas desde las etapas iniciales del proyecto (Decreuse y Feschotte, 1998).

Este modelo de diseño se puede presentar en las empresas de diferentes maneras. Existen varios modelos de diseño simultáneo cuyo objetivo común es promover una mejor interacción entre las diferentes disciplinas, figura 4. Éste es el caso de la “Ingeniería concurrente” (Prasad, 1996), del “diseño integrado” (AFNOR, 1994) o de la ingeniería colaborativa (Harvey y Koubek, 1998).

Figura 4.
Interacción simultánea entre diferentes disciplinas



Autor: Ricardo Mejía Gutiérrez

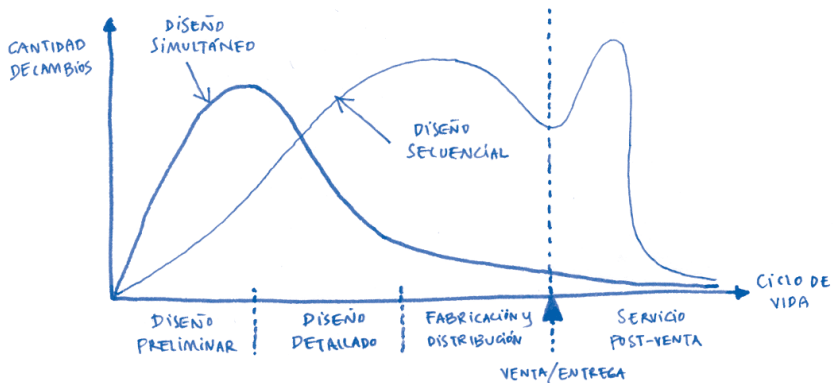
Todo comienza bajo el concepto de “ingeniería centrada en el diseño” (Yazdani y Holmes, 1999), que establece una predominancia a la fase de diseño sobre las otras fases del ciclo de vida. Este modelo impone un nivel de mayor análisis durante la etapa de diseño, pero no involucra, necesariamente, a miembros de otras disciplinas u otros departamentos de la empresa. Sin embargo, bajo esta forma de trabajo, las consideraciones técnicas de otras disciplinas comenzaban a tenerse en cuenta, al menos en las fases avanzadas del diseño, permitiendo minimizar un poco los cambios tardíos.

El concepto de “ingeniería simultánea” apareció a principio de los años ochenta en algunas grandes empresas en Estados Unidos, con la idea de corregir los diferentes problemas causados por la ingeniería

secuencial. Una de las primeras definiciones que apareció fue aquella dada por (Canty, 1987) que proponía este modelo, por un lado, como una filosofía basada en la responsabilidad de cada uno sobre la calidad del producto y, de otro lado, como un entorno basado en el diseño en paralelo con otras fases del ciclo de vida del producto.

El objetivo es incluir lo más pronto posible, en el ciclo de vida, las recomendaciones de las diferentes disciplinas o departamentos de la empresa. De esta manera, la cantidad de cambios de ingeniería, propuestos al concepto, será mayor en las fases de diseño, más que en las fases de fabricación, figura 5, y mejor aún, evitando que sea cuando el producto está en las manos del cliente, como sucedía antiguamente (ASCAMM, 1995). En otras palabras, las modificaciones que se identificaban en la fase de uso implican pérdidas considerables de dinero además de la insatisfacción del cliente.

Figura 5.
Cantidad de cambios durante el ciclo de vida



Autor: Ricardo Mejía Gutiérrez

La ingeniería simultánea es, entonces, el principio fundamental de otros modelos de diseño, de los cuales se describen a continuación los más conocidos en el medio industrial, científico y académico.

Ingeniería concurrente

La industria militar norteamericana comenzó a utilizar el término de "ingeniería concurrente", mientras que el resto de la industria

usaba el de “ingeniería simultánea”. Sin embargo, ambos conceptos hacen referencia a un proceso de diseño que se ejecuta con la utilización simultánea de la información relevante durante las etapas preliminares del ciclo de vida de un producto. Con el fin de llevar a cabo este intercambio de información, este modelo de trabajo propone la constitución de equipos multidisciplinarios, los cuales reúnen a los diferentes actores que intervienen directa o indirectamente en el diseño y que se encuentran distribuidos a todo lo largo del ciclo de vida (Prasad, 1996).

La ingeniería concurrente hace referencia a una visión uniforme y común del diseño por todos los actores involucrados, además de permitir la identificación y uso eficaz de la información y los conocimientos pertinentes, reforzando la interacción entre los actores del diseño.

El concepto de “ingeniería concurrente” sólo se volvió popular a finales de los años ochenta (alrededor de 1988) cuando el *Instituto para el Análisis de la Defensa*⁵ de Estados Unidos lo utiliza para describir “un método sistemático de diseño integrado y simultáneo de producto y de su proceso de fabricación y mantenimiento, teniendo como objetivo la consideración, desde el principio, de los factores que afectarán el producto a todo lo largo de su ciclo de vida” (Winner, *et al.*, 1988).

Existen múltiples definiciones para interpretar este modelo de diseño, tales como la de (O’Grady and Young, 1991), (Cleetus, 1992), (Sohlenius, 1992) y (Capuz Rizo, 1999). A partir de estas definiciones podemos concluir que:

“La ingeniería concurrente no es un concepto único ni cerrado, sino más bien una filosofía que se apoya en el trabajo simultáneo realizado por equipos multidisciplinarios. Su objetivo es la reducción de costos, la mejora de la calidad y la integración de las diferentes disciplinas o dominios técnicos involucrados en el ciclo de vida del producto”.

5 Institute for Defense Analysis (IDA)

Ingeniería colaborativa

La evolución de los mercados ha obligado a la industria a buscar nuevas alternativas de trabajo, dado que las empresas se han vuelto cada vez más “empresas extendidas”. Bajo este contexto, la repartición de los posibles aliados estratégicos para el diseño genera una dispersión física del equipo de trabajo, puesto que los diferentes actores ya no están necesariamente localizados en una misma zona geográfica. En estos casos, las reuniones físicas son generalmente costosas, difíciles de administrar y probablemente ineficaces. Es entonces la expansión de la tecnología y el Internet, lo que ha abierto nuevas posibilidades para la mejora en la colaboración. Esto explica toda una nueva generación de herramientas concebidas para apoyar este tipo de actividades (Riboulet, *et al.*, 2002).

Es por esto que el uso de herramientas informáticas juega un rol primordial dentro del concepto de “Ingeniería colaborativa” resaltando los aspectos de trabajo en equipo, de comunicación multidisciplinaria y de colaboración entre las diferentes áreas de conocimiento (Molina, *et al.*, 2005). El primer acercamiento de este modelo comenzó con los ambientes de “trabajo cooperativo asistido por computador”⁶ (Grudin, 1994) que buscan, principalmente, motivar el trabajo colaborativo y de los que, rápidamente, se conocieron aplicaciones en el dominio del diseño y desarrollo de productos, como el caso de (Nelson y Monplaisir, 1999).

Estas tecnologías han evolucionado hasta lo que conocemos con el nombre de “ambientes de ingeniería colaborativa”, que permiten a los diferentes expertos provenientes de las diferentes áreas de una empresa (marketing, diseño, cálculos de ingeniería, clientes, proveedores, etc.), interactuar alrededor de un proyecto de diseño, sin importar la ubicación geográfica de los miembros del equipo de trabajo (Shen, 2003).

La tecnología como soporte al proceso de diseño

La configuración de uso de las tecnologías de información, comunicación, simulación, cálculo, gestión, etc. depende de las condiciones

6 Del acrónimo CSCW, en inglés: Computer Supported Cooperative Work

de trabajo del equipo multidisciplinario y de su contexto dentro de la tipología de espacio-tiempo (propuesta originalmente por (Ellis, *et al.*, 1991). En el diseño tradicional, el eje de tiempo era la principal restricción, pero con la aparición de la empresa extendida y la globalización, el eje de espacio comenzó a cobrar mayor importancia. Bajo esta óptica, la tabla 1 presenta una matriz bidimensional para explicar la tipología de espacio y tiempo.

Tabla 1.
Matriz de espacio vs tiempo

		TIEMPO	
		MISMO	DIFERENTE
ESPACIO	MISMO	Interacciones sincrónicas cosituadas (ej: Reunión Presencial)	Interacciones asincrónicas Cosituadas (ej: trabajo Secuencial)
	DIFERENTE	Interacciones sincrónicas distantes (ej: Trabajo Colaborativo)	Interacciones asincrónicas distantes (ej: trabajo distribuido)

Autor: Ricardo Mejía Gutiérrez

Es por esto que el contexto de trabajo debe ser definido, como por ejemplo la ubicación física y la asignación de tiempos, al equipo multidisciplinario de trabajo, con el fin de poder definir el modelo de diseño más pertinente.

Así mismo, la selección de herramientas tecnológicas para apoyar el desarrollo del proceso de diseño, depende del objetivo y cobertura de cada herramienta. Varios estudios, como los desarrollados por el autor (Mejía y Molina, 2007), han mostrado que las herramientas de apoyo al diseño se pueden clasificar en cuatro categorías:

- Herramientas funcionales: realizar y apoyar funciones que sustentan tareas específicas de ingeniería. Normalmente son la automatización de metodologías.
- Herramientas de coordinación: gestionar y controlar tareas.
- Herramientas de comunicación: interactuar y comunicar, para apoyar la cooperación entre los participantes.

- Herramientas de gestión de la información: compartir y administrar información y conocimiento, para facilitar el intercambio de resultados y conocimiento.

Un proyecto colaborativo debe contar idealmente con, al menos, una herramienta de las cuatro categorías para desarrollarse de manera eficaz; de lo contrario, es posible que se presenten problemas que dificulten el buen desarrollo del proyecto. Para ilustrar esta clasificación, la tabla 2 presenta algunos ejemplos de herramientas comúnmente conocidas y utilizadas para proyectos de ingeniería de diseño.

Tabla 2.
Ejemplos de herramientas por categorías

	FUNCIONALES	COMUNICACIÓN	COORDINACIÓN	ADMINISTRACIÓN DE INFORMACIÓN
EJEMPLOS DE HERRAMIENTAS DISPONIBLES	<ul style="list-style-type: none"> • CAD/CAM/CAE • Simulación • QFD/AMEF/IDFEO • DFM/DFA • etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Video-conferencia • SKYPE • Foros • Chat • e-mail • CSCW • Elluminate, etc 	<ul style="list-style-type: none"> • Project management • Workflow • Groupware • e-management • e-project • etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Repositorios • Bases de datos • PDM-Product Data Management • PLM-Product Life cycle Management, etc.

Autor: Ricardo Mejía Gutiérrez

Sin embargo, no es común encontrar ambientes integrados que provean todas las tecnologías al mismo tiempo. Así mismo, los científicos e industriales están buscando la conversión de herramientas "stand-alone" en herramientas colaborativas, es decir, que varios usuarios interactúen simultáneamente con ellas. Así mismo, la integración de categorías es otra área de interés donde el objetivo final, a largo plazo, es lograr obtener un ambiente integrado de ingeniería que provea herramientas funcionales, de comunicación, de colaboración y de gestión de información.

Conclusiones

El análisis del ciclo de vida de un producto y la identificación de conocimientos claves, provenientes de las diferentes situaciones de vida del producto, son una gran herramienta de trabajo para integrar, desde las fases preliminares del diseño, todas aquellas restricciones que pueden generar una modificación al diseño.

Así mismo, es importante resaltar que el diseño secuencial fue la base de la evolución del diseño, la cual, con el pasar de los años, fue sufriendo múltiples cambios influenciados por la complejidad del entorno de trabajo y de los mercados cada vez más globalizados. Sin embargo, este modelo sigue funcionando en muchas aplicaciones del diseño, pero la gran diferencia con el proceso secuencial tradicional, es que las actividades son desarrolladas por equipos multidisciplinarios de trabajo. Esto es una aproximación al concepto de diseño concurrente, que pretende considerar la opinión técnica de las diferentes fases del ciclo de vida de producto.

La ingeniería concurrente es entonces una importante filosofía de diseño, donde el diseño es llevado a cabo por un equipo multidisciplinario, además de comenzar a desarrollar las diferentes fases del ciclo de vida de manera simultánea. Este modelo de trabajo, combinado con la globalización y distribución geográfica de trabajo, ha motivado el uso de herramientas tecnológicas para lograr lo que se conoce como ingeniería colaborativa.

Para concluir, hay que recordar entonces que los conocimientos técnicos provenientes de todas las fases del ciclo de vida de un producto, deben participar más de la emergencia en las decisiones de diseño, que de su validación. Hay que estimular entonces la participación de diferentes expertos en múltiples áreas técnicas, en las fases preliminares del diseño.

Bibliografía

Analyse de la Valeur, Analyse Fonctionnelle - Expression fonctionnelle du besoin et cahier des charges fonctionnel, s.l., Association Française de Normalisation, 1991.

Canty, E., *Simultaneous Engineering: Expanding scope of quality responsibility*, s.l., Digital Equipment Corporation, White Paper, 1987.

Capuz Rizo, S., *Introducción al proyecto de producción. Ingeniería concurrente para el diseño del producto*, Valencia, Serv. de Publicaciones, Universidad Politécnica de Valencia, 1999.

Charney, C., *Time to Market: Reducing Product Lead Time*, s.l., Society of Manufacturing Engineers, 1991.

Clausing, D., "Concurrent Engineering", *Materials Park*, OH: ASM International, s.l., 1997, pp. 57-65.

Cleetus, K., *Definition of Concurrent Engineering*, Morgantown, WV: Concurrent Engineering Research Center, 1992.

Cohodas, M.J., "Make the most of supplier know-how", *Electronics Purchasing*, s.l., vol. 38, 1988, pp. 38-39.

Decreuse, C. y D. Feschotte, "Ingénierie simultanée", *Techniques de l'ingénieur. L'Entreprise industrielle*, vol. 2(A 5310), 1998, pp. 1-14.

Duffy, J. y M. Tod, "The extended enterprise: eliminating the barriers", *CIO Magazine*, s.l., 2004.

El diseño industrial y la reducción del Time-to-Market, Madrid, Asociación Catalana de Fabricantes de Moldes y Matrices (ASCAMM) y Sociedad Estatal para el Desarrollo del Diseño Industrial (DDI), 1995.

Ellis, C.A., S.J. Gibbs y G.L. Rein, "Groupware: some issues and experiences", *Communications of the ACM*, vol. 34(1), 1991, pp.38-58.

Fleming, Q.W. y L. M. Koppelman, "Integrated project development teams", *International Journal of Project Management*, vol. 14(3), 1996, pp. 163-168.

Grudin, J., "Computer-supported cooperative work: Its history and participation", *IEEE Computer*, vol. 27(5), 1994, pp.19-26.

Harvey, C.M. y Koubek, R.J., "Toward a model of distributed engineering collaboration", *Computers Industrial Engineering*, vol. 35(1-2), 1998, pp. 173-176.

Huthwaite, B., "Designing in quality", *Quality*, vol. 27(11), 1988, pp. 34-35.

Levitt, T., "Exploit the Product Life Cycle", *Harvard Business Review*, vol. 43, nov-dic de 1965, pp. 81-94,

Management des systèmes. Ingénierie intégrée; Concepts généraux et introduction aux méthodes d'application, s.l., Association Française de Normalisation, 1994.

Mejía, R., López, A. y Molina, A., "Experiences in developing collaborative engineering environments: An action research approach", *Computers in Industry*, vol. 58(4), 2007, pp. 329-346.

Molina A., Aca, J. y Wright, P., "Global collaborative engineering environment for integrated product development", *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, vol. 18(8), 2005, pp. 635-651.

Nelson, A.C. y Monplaisir, L., "An integrated cscw architecture for integrated product/process design and development", *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 15(2), 1999, pp. 145-153.

O'Grady, P. y Young, R., "Issues in concurrent engineering systems", *Journal of Design and Manufacturing*, vol. 1(1), 1991, pp. 27-34.

Prasad, B., *Concurrent engineering fundamentals*, s.l., Prentice-Hall PTR, 1996.

Riba-Romeva, C., *Diseño concurrente, Cataluña*, Edicions UPC, 2002.

Riboulet, V., Marin, P. y Leon, J.C., "Towards a new set of tools for a collaborative design environment", *The 7th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design*, 2002, pp. 128-133.

Shen, W., "Editorial of the special issue on knowledge sharing in collaborative design environments", *Computers in Industry*, vol. 52(1), 2003, pp.1-3.

Sohlenius, G., "Concurrent Engineering", *CIRP Annals*, vol. 41(2), 1992, pp. 645-656.

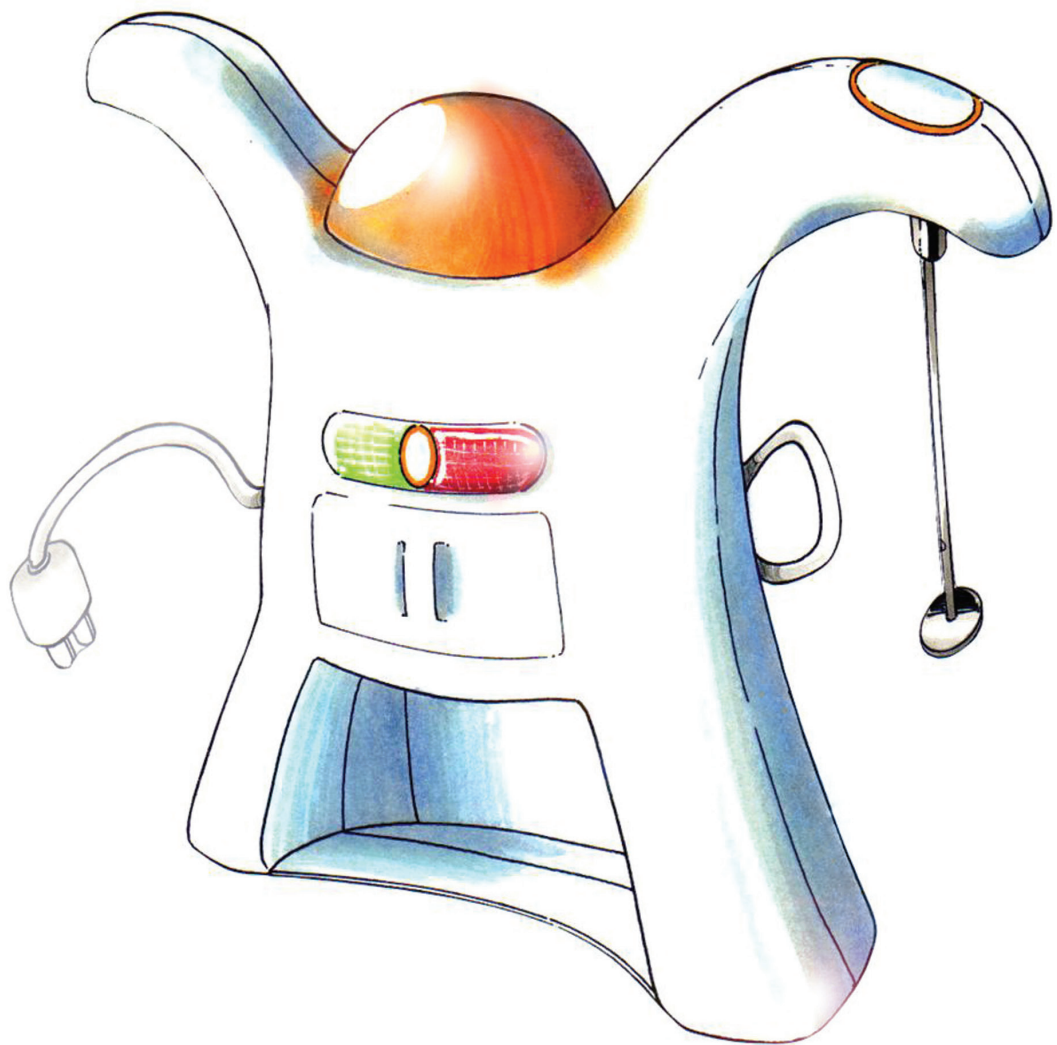
Tipnis, V.A., "Evolving Issues in Product Life Cycle Design: Design for Sustainability" *Handbook of Life Cycle Engineering: Concepts, models and technologies*, Londres, Ed., Molina A., A. Kusiak y J. Sánchez, Kluwer Academic Publishers , 13, 1999, pp. 399-412.

Whitney, D.E., "Manufacturing by Design", *Harvard Business Review*, vol. 66(4), 1988 pp. 83-91.

Winner, R.I., Pennell, J.P., Bertrand, H.E. y Slusarczuk, M.M.G., *The role of concurrent engineering in weapon systems acquisition*, s.l., IDA-Report R-338, Institute for Defense Analyses, 1988.

Yazdani, B. y Holmes, C. "Four Models of Design Definition: Sequential, Design Centered, Concurrent and Dynamic", *Journal of Engineering Design*, s.l., vol. 10(1), 1999, pp. 25-37.

Zimmer, L. y Zlabit, P., "Global aircraft pre-design based on constraint propagation and interval analysis", *CEAS'01: Conference on multidisciplinary Aircraft design and Optimization*, s.l., 2001.



DISEÑANDO

más allá de la función - diseño para X

Gilberto Osorio G.

¿Alguna vez te has preguntado cuál es tu responsabilidad como ingeniero de diseño de producto? ¿Qué te diferencia de un ingeniero mecánico, industrial, electrónico, o de un diseñador industrial? ¿Cuáles son tus responsabilidades ante el mercado? ¿Qué espera la industria de ti?

Pues, si aún no lo has hecho, esta lectura te invita a reflexionar sobre tu preparación como profesional. Se espera que al final del texto todas estas preguntas generen una mayor curiosidad y un mayor deseo de identificar tus habilidades, y aquello que te diferencia del resto de profesionales.

Partamos del nivel de conocimiento que se espera tener al final del ciclo formativo. Como ingeniero se espera tener un conocimiento crítico de los sistemas técnicos orientado a las ciencias básicas, metodologías de diseño, materiales, análisis multifísico, capacidades de modelación y simulación, selección de procesos, entre otros; mientras que como diseñador, se espera tener aptitudes para el pensamiento creativo, el análisis formal, la interacción con el usuario, la manualidad y el lenguaje de producto, entre otros. Además, las dos disciplinas deben estar complementadas por un conocimiento de la gestión de proyectos, del mercado y del medio industrial colombiano.

Con estas bases, es obvio que un ingeniero de diseño debe poseer el conocimiento necesario para participar en cualquier fase del proceso de desarrollo de un producto. Por lo tanto, la Ingeniería de Diseño de Producto, no es un camino fácil, requiere compromiso, dedicación y una mente abierta; y como tal, es un compromiso, para cada uno, demostrar una preparación adecuada y completa en la resolución de problemas.

Es necesario entender el por qué de los cursos de formación, ser críticos ante los temas vistos y aplicar el conocimiento en la situación justa; no se debe perder el horizonte y limitar la formación a la modelación, al diseño gráfico o a la construcción de modelos; se debe ser integral y comprometido con el desarrollo de productos y con las necesidades del usuario.

Esta introducción es un llamado a la reflexión sobre la preparación que se requiere al enfrentar el desarrollo de un producto (sistema, componente o proceso), de hecho, el documento está orientado a la presentación de diferentes metodologías, conocidas como “Diseño para X” o “Design for X” comprometidas con diferentes aspectos del ciclo de vida de un producto, haciendo énfasis en el DPM (Diseño para la Manufactura) y el DPE (Diseño para el Ensamble), (Kuo *et al.*, 2001).

En términos generales, el ciclo de vida de un producto ha sido interpretado de la siguiente forma: cuando se enfrenta un problema de diseño, el diseñador parte de un problema planteado en forma general donde el proceso avanza en forma divergente-convergente comenzando con las necesidades expresadas e identificadas por el cliente, pasando luego a una definición de requerimientos y limitaciones de producto donde el cliente, el diseñador, el entorno de la compañía y las normativas vigentes ayudan a la primera definición y cuantificación de los requerimientos funcionales. A continuación, los primeros *layouts* de los principios de solución se combinan para dar forma al producto, es decir, la definición de la arquitectura y la selección de la solución más conveniente se realiza con base en los parámetros de diseño, es decir, aquellos criterios que se espera el producto deba cumplir. Sigue una fase de detalle donde los aspectos relacionados con la funcionalidad y la forma toman su configuración definitiva y cuando se ha encontrado la solución física adecuada, el diseñador debe considerar los parámetros del proceso de producción de dicho producto, entendiendo producción como la suma de los procesos de manufactura y de ensamble. El proceso de manufactura comprende todas aquellas actividades destinadas a la fabricación de los componentes que deben trabajar juntos para formar el producto final; mientras que el proceso de ensamble comprende todas las actividades destinadas a la unión de componentes fabricados y estándar. Por último, tiene lugar la producción, uso y disposición final del producto para dar inicio nuevamente al ciclo de vida del

producto (Keys, 1990). Se referencian las metodologías de (Pahl, *et al.*, 2007) y de (Ulrich y Eppinger, 2000) para mayor información sobre el proceso de desarrollo de producto.

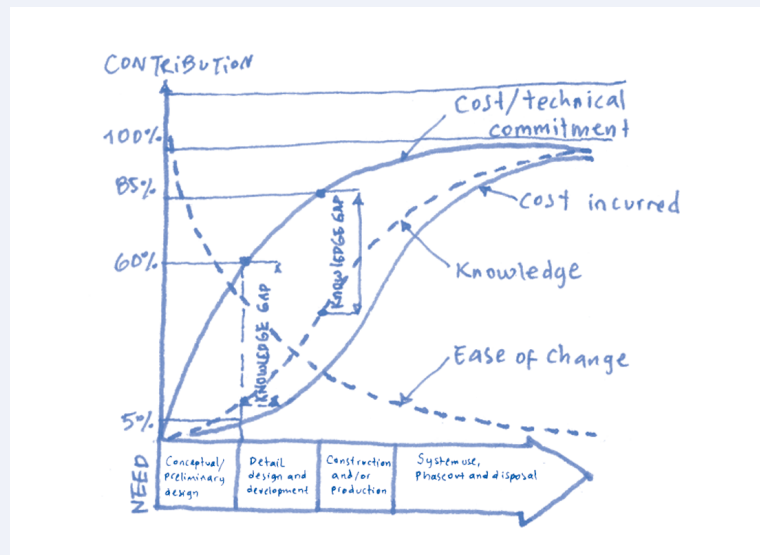
Sin embargo, esta interpretación ha sufrido algunas modificaciones durante los últimos años cuando nuevos aspectos relacionados con la calidad del producto, la satisfacción del cliente, aspectos ambientales y el desarrollo de nuevas metodologías y tecnologías han tenido lugar y han llevado a una integración de estas etapas que se venían realizando en forma secuencial. Es decir, *el desarrollo de productos ha dejado de ser puramente funcional.*

Retomemos el desarrollo del producto como la respuesta a una necesidad específica del usuario, éste es el punto de partida para el desarrollo de cualquier producto, ya sea un nuevo diseño o un rediseño. Pero recordemos que difícilmente seremos los únicos en perseguir esta meta, la competencia a nivel industrial nos exige ser los más rápidos en el desarrollo de productos de alta calidad al menor costo posible. Esto requiere la integración de diferentes disciplinas en un trabajo simultáneo conocido como "Ingeniería concurrente" y prestar atención a las primeras etapas de desarrollo donde la toma de decisiones adquiere un papel primordial en el éxito del producto. Es en este punto donde se deben considerar todos los aspectos relacionados con el proceso productivo, la confiabilidad, el mantenimiento y otro sinfín de aspectos, que de no ser tenidos en cuenta, podrán generar cambios considerables en el diseño del producto, justo cuando éste se encuentra a punto de ser producido en serie o de ser lanzado al mercado. Como se observa en la figura 1, este tipo de cambios en avanzadas etapas de desarrollo es difícilmente implementado y los costos en los que se incurre son bastante elevados, además de los retrasos en los tiempos de comercialización y las pérdidas de mercado (Booker *et al.*, 2001).

A nivel industrial se comenzó a considerar esta situación desde los años sesenta, cuando varias compañías empezaron a definir pautas para la manufactura de sus productos, que debían ser tenidas en cuenta durante la etapa de diseño; sin embargo, el énfasis era sólo para la capacidad de producción de componentes individuales y se prestaba poca atención a los procesos de manufactura y ensamble. A final de los años setenta, Boothroyd y Dewhurst comenzaron los pri-

meros estudios sobre el DPE (Diseño para el Ensamble) considerando las limitaciones del montaje durante la etapa de diseño, utilizando tiempos estimados de montaje como guía para la definición de cambios de diseño orientados a la reducción del costo final. A continuación, se desarrolló el concepto de DPM (Diseño para Manufactura) con el objeto de considerar simultáneamente todos los requerimientos y limitaciones de diseño para los productos que deben ser fabricados. Estas dos metodologías pueden considerarse como los inicios de los conceptos de Diseño para X, ya que después de ellas se desarrollaron un sinnúmero de metodologías dirigidas a temas particulares que afectan las características de un producto o que son causados por ellas. Cada metodología ayuda a la generación y aplicación de cierto conocimiento técnico que permite controlar, mejorar o inventar nuevas características de un producto. Como primera aproximación, las metodologías de Diseño para X pueden clasificarse de acuerdo a la fase del diseño de producto que se encuentra dirigida, de acuerdo con la tabla 1.

Figura 1. Costos durante el proceso de desarrollo de un producto y la carencia de conocimiento (knowledge gap).



Fuente: Adaptado de Murman, 2002

Éstos son sólo algunas de las metodologías de Diseño para X de carácter general, ya que existen conceptos para situaciones específicas como diseño para baja producción o diseño para montajes

electrónicos. Se abordan a continuación algunas metodologías que se consideran de interés y que en cierta forma hacen parte de la formación de un ingeniero de diseño de producto.

Tabla 1.
Clasificación de las metodologías de Diseño para X

FASE DE DESARROLLO	<ul style="list-style-type: none"> • DISEÑO PARA LA CALIDAD • DISEÑO PARA LA SEGURIDAD • DISEÑO PARA LA CONFIABILIDAD • DISEÑO PARA EL MENOR RIESGO • DISEÑO PARA LA PRUEBA • DISEÑO PARA EL MENOR TIEMPO DE COMERCIALIZACIÓN
FASE DE PRODUCCIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • DISEÑO PARA EL COSTO-INGENIERÍA DE VALOR • DISEÑO PARA EL ESTÁNDAR • DISEÑO PARA EL MONTAJE • DISEÑO PARA LA MANUFACTURA • DISEÑO PARA LA LOGÍSTICA .
FASE DE UTILIZACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • DISEÑO PARA LA ERGONOMÍA • DISEÑO PARA LA ESTÉTICA • DISEÑO PARA LA USABILIDAD • DISEÑO PARA EL MANTENIMIENTO
FASE DE DISPOSICIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • DISEÑO PARA EL MEDIO AMBIENTE • DISEÑO PARA EL RECLAJE • DISEÑO PARA EL DESMONTAJE

Fuente: Adaptado de Fabrycky, 1994

Diseño para el Ensamble (DPE)

Las primeras investigaciones sobre DPE fueron realizadas por Boothroyd y Dewhurst (Boothroyd y Dewhurst, 1988) en el ámbito militar y se basaban en la suposición que el costo más bajo de montaje se puede obtener diseñando un producto que se pueda ensamblar con el sistema de montaje más apropiado. Dichos sistemas se encuentran clasificados en montaje manual, montaje robótico y montaje automático, organizados en orden de mayor a menor flexibilidad. El método se basa en la definición de tiempos para las operaciones de

montaje de acuerdo a la facilidad de manipulación e inserción de los componentes, considerando que estas dos actividades componen el tiempo total de montaje junto a actividades complementarias de control y otras. Dichos tiempos se encuentran en tablas codificadas con dos dígitos (xx) y clasificadas según la simetría, tamaño y ángulo de inserción de las partes, el método de sujeción, la facilidad de montaje y la utilización de herramientas auxiliares. Actualmente existe un software desarrollado sobre esta metodología que arroja los mismos resultados y que analiza las características de cada componente a partir de un modelo CAD tridimensional.

De esta forma, cada producto es evaluado en términos de tiempos de ensamble y una eficiencia de diseño (ED) definida por la siguiente ecuación:

$$ED = \frac{TMM \times NMC}{TTM} \times 100\%$$

Donde: TMM = tiempo óptimo de montaje de un componente, definido teóricamente en tres segundos.

NMC = número mínimo de componentes necesarios para un montaje óptimo.

TTM = tiempo total de montaje del producto calculado con las tablas de tiempos.

El número mínimo de componentes necesarios para un montaje óptimo (NMC) se define realizando las tres preguntas siguientes para cada uno de los componentes en relación a cada uno del resto de componentes del producto con los cuales está relacionado:

1. ¿Es necesario un movimiento relativo entre el componente analizado y el componente "n"?
2. ¿Es necesario que el componente analizado sea de un material diferente al del componente "n"?
3. ¿La parte analizada debe estar separada del componente "n" por cuestiones de servicio, mantenimiento o funcionalidad?

En caso de obtener tres respuestas negativas, el componente analizado es candidato a la eliminación o a la integración con otro de los componentes.

El método de Boothroyd y Dewhurst se puede resumir en los siguientes pasos:

1. Se calcula el tiempo de montaje del producto actual utilizando las tablas de manipulación e inserción.
2. Se cuestiona la existencia de cada parte con las tres preguntas para determinar el NMC.
3. Se calcula la eficiencia de diseño (E_D) para el producto actual.
4. Se identifican las dificultades de montaje que conducen a problemas de manufactura y calidad, relacionadas con el diseño de la parte y la facilidad de manipulación e inserción.

Posteriormente se puede realizar el mismo procedimiento para el producto rediseñado hasta que se obtenga una eficiencia de diseño deseada, normalmente superior o igual al 60%.

Muchas otras metodologías de DPE se han desarrollado en empresas y universidades a partir de aquel entonces, con algunas modificaciones o alternativas de análisis de costos, pero las bases continúan siendo las mismas, es decir, reducir el número de partes y asegurar la facilidad del montaje.

Una de las metodologías más conocidas y aplicadas es la de LUCAS, desarrollada en LUCAS Corp. a principios de los años ochenta; similar al método de Boothroyd y Dewhurst con la diferencia que la facilidad de montaje de las partes viene definida por una escala de puntuación y no por los tiempos de montaje y por el empleo de índices de dificultad para el manejo y la inserción de las partes relativo al número de componentes esenciales (NMC).

Además de las metodologías, el DPE presenta una lista de pautas de diseño que deben ser consideradas para el rediseño de los componentes. Los criterios más generales pueden resumirse en:

1. Minimizar el número de partes y conexiones, las variantes de diseño, los movimientos de montaje y las direcciones de ensamble.
2. Facilitar chaflanes para la inserción, características para la alineación automática, facilidad de acceso a superficies de posi-

cionamiento, partes simétricas o exageradamente asimétricas y actividades simples de manipulación y transporte.

3. Evitar obstrucciones visuales, operaciones simultáneas de ajuste, partes que se puedan enredar, ajustes que afecten montajes anteriores y la posibilidad de cometer errores de montaje (Poka-Yoke).

Otro aspecto importante del DPE es el diseño de productos modulares definidos por la independencia funcional de los componentes/subensambles (Suh, 1995), (Stone *et al.*, 2004). Esta capacidad para obtener diferentes tipologías de productos a través de la combinación de partes estándar y de compartir las mismas operaciones de montaje, disminuye considerablemente los costos de producción.

Diseño para la Manufactura (DPM)

Mientras que el DPE está relacionado con el rediseño de los componentes de un producto, el DPM está relacionado con la identificación de los materiales y los procesos de manufactura apropiados para cada uno de los componentes durante la etapa de diseño del producto, basado en la combinación de distintos requerimientos y limitaciones del producto y la capacidad de los procesos, de forma que se obtengan bajos costos y menores tiempos de producción. Las bases para este método se pueden encontrar en libros de selección de materiales y de procesos de manufactura y no serán mencionadas en este artículo.

Muchos estudios de DPM se han completado para diferentes procesos de manufactura como mecanizado, moldeo por inyección, deformación de lámina y fundición, y los resultados han sido utilizados para la estimación de costos en las primeras etapas de diseño. Las aplicaciones de DPM pueden ser realizadas eficientemente a través del uso de sistemas CAD/CAM integrados con módulos para la estimación de costos.

Se observa que los conceptos de DPE y DPM están íntimamente relacionados con el rediseño de productos existentes y para una mayor inmersión en este tema se recomienda la lectura de (Otto y Wood, 1998) sobre el método de ingeniería inversa y rediseño.

Diseño para el desensamble y el reciclaje

El desensamble y el reciclaje han ganado importancia en la mayoría de los países industrializados debido al aumento dramático de productos desechados y, hoy en día, los diseñadores deben considerar igualmente estos temas como se hace con las operaciones de montaje. De este modo, cuando se diseña el producto se debe definir la disposición de sus componentes al final de la vida útil, es decir la reutilización, la remanufactura, el reciclaje, la incineración y la descarga en rellenos sanitarios, considerando que estas disposiciones se encuentran clasificadas de mayor a menor preferencia ambiental y económica, ya que a mayor nivel, la mayor parte de la inversión en materia prima, energía y composición de la parte es conservada. Por lo tanto, considerando que no es posible o económico reciclar un producto completamente, el objetivo del diseño para el reciclaje debe ser maximizar la posibilidad de una buena disposición y minimizar el potencial de contaminación de los componentes restantes. Cuando se ha definido el tipo de disposición, es posible pensar el tipo de desmontaje necesario: destructivo o no-destructivo. A este punto, se encuentra el problema crítico de la definición de la secuencia de desmontaje, que es considerado un tema de investigación con gran potencial y que ha sido abarcado desde el punto de vista de la combinatoria y de la teoría de los grafos (Barnes *et al.*, 1997).

Un concepto importante en el diseño para el desensamble y el reciclaje es la agrupación de componentes y subensambles que presentan características comunes basadas en la intención de disposición. La compatibilidad de materiales es la más importante de las cuestiones en la agrupación para el retiro de un producto, y afecta el modo en el cual los componentes se conectan entre sí, es decir, si el producto será reciclado y los materiales no son compatibles, las conexiones mecánicas deben ser desmontables, mientras que si una intención de desecho ha sido determinada, ni el método de conexión ni la compatibilidad de los materiales son importantes.

Diseño para el Medio Ambiente (DPMA)

El DPMA es definido como una consideración sistemática —durante el proceso de desarrollo y producción— de variables de diseño asociados con la seguridad ambiental y la salud durante todo el ciclo

de vida del producto. El alcance del DPMA abarca muchas disciplinas, incluyendo la gestión de riesgos ambientales, la seguridad del producto, salud y seguridad ocupacional, prevención de la contaminación, ecología, conservación de los recursos, prevención de accidentes y la gestión de desechos.

Las tres metas principales del DPMA son:

1. Minimizar el uso de recursos no renovables.
2. Administrar efectivamente los recursos renovables.
3. Minimizar las descargas tóxicas en el ambiente.

El método cuantitativo ambiental incluye un costeo del producto basado en actividades, es decir, los costos del producto se rastrean a partir de los consumos de energía de las actividades necesarias para la obtención del producto y un análisis de costo- beneficio.

Conclusiones

El Diseño para X permite considerar los requerimientos y restricciones de diseño en las primeras etapas del proceso de desarrollo de un producto para que, de esta forma, las empresas puedan mejorar la calidad de sus productos y reducir el tiempo de comercialización, ya que un producto esencialmente simple es diseñado correctamente al primer intento sin generar problemas, demoras o cambios durante el proceso de desarrollo.

La implementación de estas metodologías exige por parte del ingeniero de diseño una gran preparación profesional, un conocimiento global de diferentes disciplinas, una mente abierta y gran disposición al trabajo en equipo. Además, de un interés constante por el descubrimiento de nuevas metodologías y herramientas para el desarrollo de productos y un convencimiento propio para acabar con las barreras organizacionales y la resistencia al cambio de la forma en que se están diseñando los productos actualmente.

Bibliografía

Barnes, C. J., G. F. Dalglish, G. M. Jared, K. G. Swift & S. J. Tate, "Assembly Sequence Structures in Design for Assembly", *The 1997 IEEE International Symposium on Assembly and Task Planning, ISATP'97*, Estados Unidos, Marina del Rey, 1997, pp. 164-169.

Booker, J. D., M. Raines, & K. G. Swift, *Designing Capable and Reliable Products*, Oxford, Butterworth-Heinemann, 2001.

Boothroyd, G., & P. Dewhurst, "Product Design for Manufacture and Assembly", *Manufacturing Engineering*, abril de 1988, pp. 42-46.

Keys, L. K., "System Life Cycle Engineering and DF 'X'", *IEEE Transactions on Components Hybrids and Manufacturing Technology*, 13 (1), 1990, pp. 83-93.

Kuo, T.-C., S. H. Huang & H. C. Zhang, "Design for manufacture and design for X: concepts, applications and perspectives", *Computer and Industrial Engineering*, 41, 2001, pp. 241-260.

Murman, E., *Lean Enterprise Value*, Palgrave Macmillan, 2002.

Otto, K. N. & K. L. Wood, "Product Evolution: A Reverse Engineering and Redesign Methodology", *Research in Engineering Design*, 10, 1998, pp. 226-243.

Pahl, G., W. Beitz, J. Feldhusen, & K. H. Grote, *Engineering Design - A Systematic Approach*, 3ª ed., Londres, Springer Verlag, 2007.

Stone, R. B., D. A. McAdams, & V. J. Kayyalethekkel, "A Product-Architecture Based Conceptual DFA Technique", *Design Studies*, 25, 2004, pp. 301-325.

Suh, N. P., "Axiomatic Design of Mechanical Systems", *Transactions of the ASME. Special 50th Anniversary Design Issue*, 1995, p. 117.

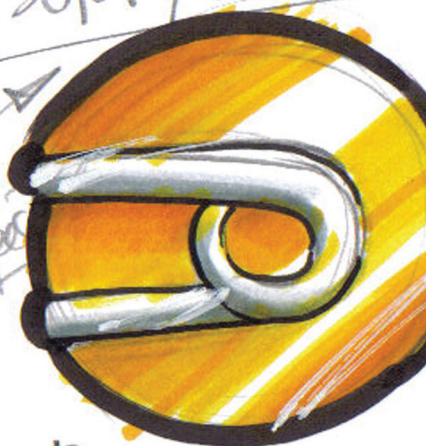
Ulrich, K. T. & S. D. Eppinger, *Product design and development*, 2ª ed., McGraw Hill, 2000.

Autor: Maria Fernanda Suescúm

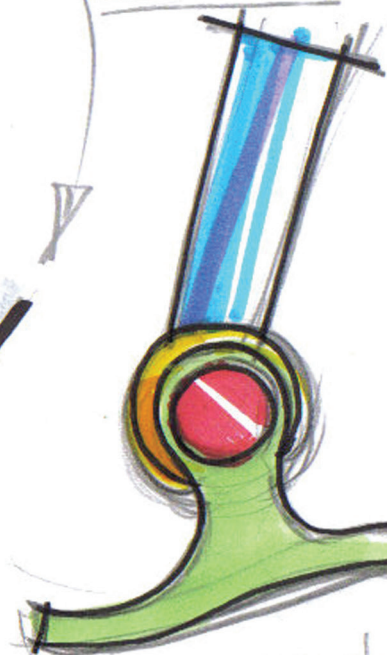
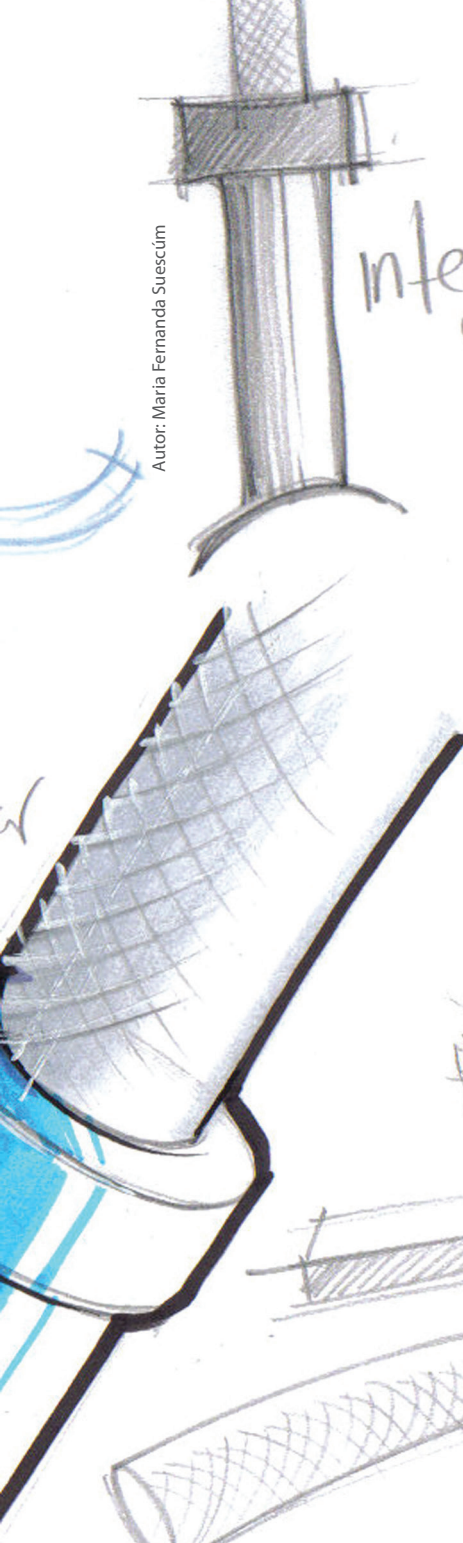
Integrar??

Reducir

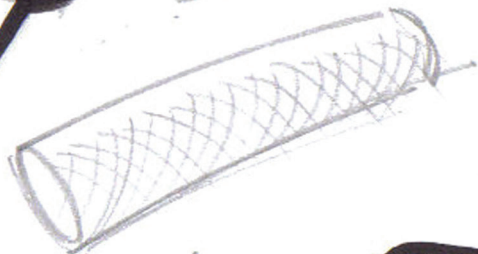
Isola Articular



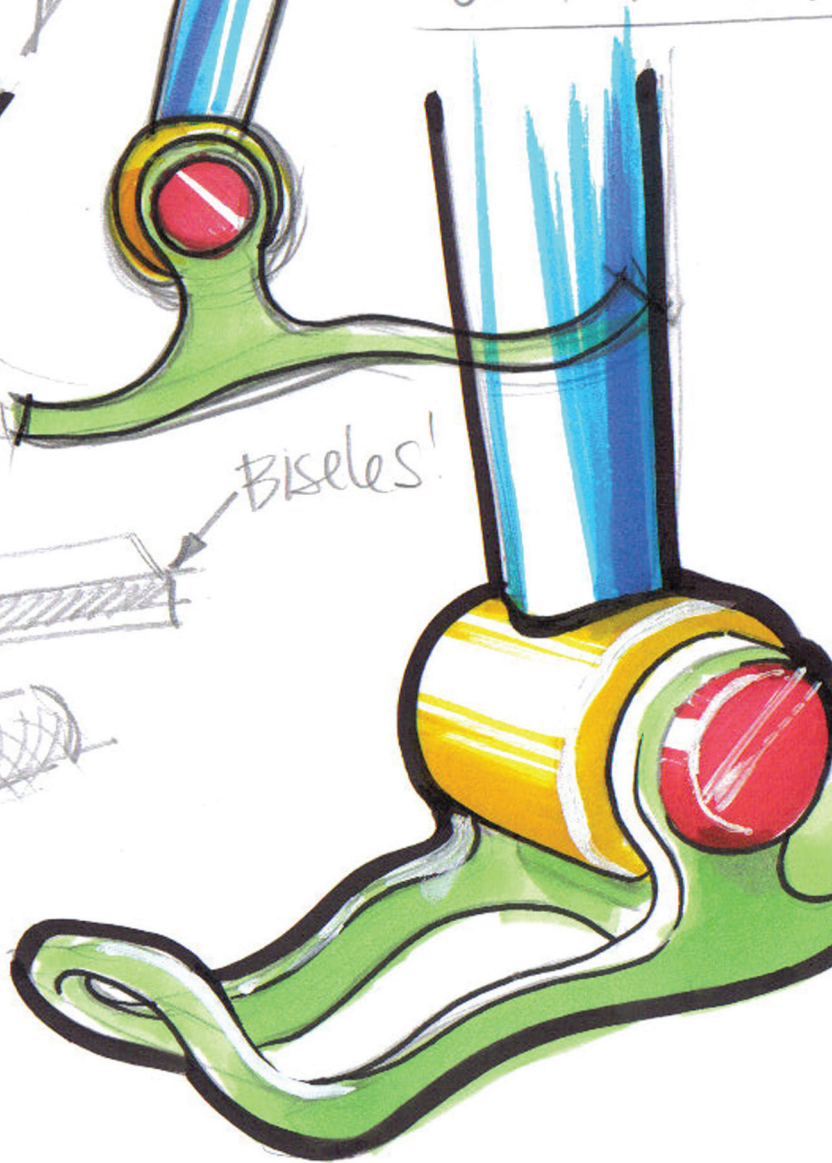
Resortes que controlan mt



Biseles!



Moleteados
Para agarres.



TEORÍAS DE LA EVOLUCIÓN

que contribuyen a explicar Los sistemas
nombre - artefacto - ambiente

Juan Diego Ramos Betancur

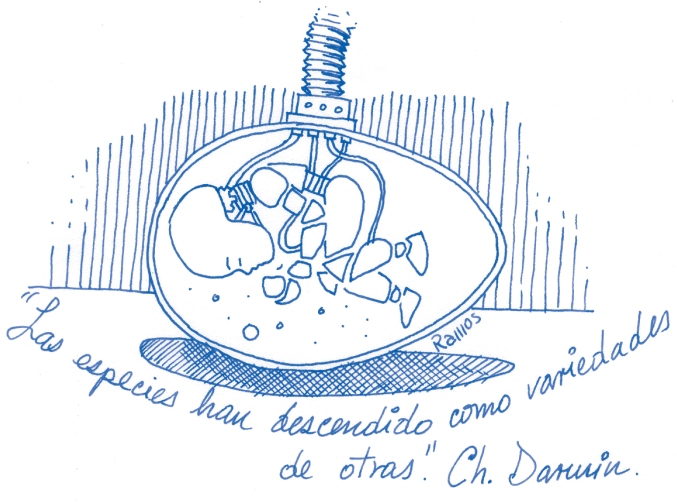
La tríada Hombre-Artefacto-Ambiente se deriva de las reflexiones que Jaume Blasc, un reconocido ingeniero catalán, ha desarrollado en su libro *Los proyectos de sistemas artificiales*. En términos de este autor, los tres sistemas están interconectados, pero cada uno tiene una estructura de leyes propia. Del *hombre*, afirma: “[...] es el punto más endeble del sistema [...]”. De *los artefactos* explica: “Las máquinas son unas inclusiones artificiales con unos comportamientos rígidos e inflexibles, que están predeterminados por su composición material interna”. Del *ambiente* termina comentando: “El medio de los hombres y las máquinas es a la vez mundo físico (natural y artificial), y mundo de los seres vivos. Y este último incluye el mundo social de los hombres”. (Blasc, 2000)

Como estos sistemas son interdependientes, y las estructuras artificiales son posibles derivaciones analógicas de las naturales, es importante explorar sobre posibles algoritmos genéticos en el desarrollo tecnológico, partiendo de lo que llamaba Bertrand Russell los “sense-data”. Es este gran pensador y matemático inglés quien hace alusión por primera vez al concepto. Para Russell, los “sense-data” son los fenómenos físicos y los hechos fisiológicamente perceptibles, objetivamente reconocidos por las diferentes franjas receptoras de los sentidos.

El propósito de este texto es presentar un conjunto de factores y variables que intervienen en los rasgos fenotípicos y genotípicos, observados en la historia de los artefactos tecnológicos, lo que significa que las teorías de la evolución son de utilidad para comprender y explicar la actividad tecnológica humana.

Desde la biología, los rasgos fenotípicos son aquellos que están asociados a rasgos que podemos percibir del individuo, adquiridos

durante su existencia y que lo modifican a través de la alimentación, las actividades físicas, algunas condiciones medio-ambientales y grupales, entre otras. Los rasgos genotípicos son los que ha heredado de los padres y que configuran la especie.



Autor: Juan Diego Ramos

Si trasladamos analógicamente estos rasgos a los artefactos tecnológicos, tendríamos que recurrir a modos de análisis que nos permitan eliminar la fidelidad de la reproducción biológica, y aceptar que los cambios morfológicos y estructurales de un artefacto, dependen en gran medida de dos cosas: de los conocimientos que un individuo posee para alterar determinadas características en el diseño y arquitectura; y de la infraestructura tecnológica y de re-

recursos diversos que puede poseer una empresa de manufactura para la fabricación y puesta a punto de cada pieza.

Las teorías de la evolución, desde los conceptos lanzados por Charles Darwin en su libro *El origen de las especies* de 1859, abrieron un nuevo espacio al pensamiento científico y dieron la oportunidad a muchos investigadores de explicar el origen de los cambios de los organismos y las implicaciones del medio ambiente en dicho cambio. Darwin cita que se "puede llegar a deducir que las especies no han sido creadas independientemente, sino que han descendido como variedades de otras especies". Y concluye su introducción afirmando que "no dudamos que la selección natural ha sido el más importante, sino el exclusivo medio de modificación" (Darwin, 1983).

La historia hace evidente que en un cierto momento, el medio ambiente modelaba al hombre, ya que el desarrollo tecnológico y social era muy incipiente. Por ejemplo, se estima que en todo el planeta había unos 14 millones de habitantes alrededor del año 3000 antes de nuestra era, en tiempos de las primeras dinastías de Egipto y los asentamientos humanos en Mesopotamia. En cinco mil años

hemos llegado a más de seis mil millones de habitantes y tenemos una demanda de recursos naturales que ya empieza a producir efectos sobre los ecosistemas.

Desde lo ontológico, puede explicarse la simbiosis *hombre-técnica*, a partir de las particularidades de los contextos ecológicos y culturales a través del tiempo, haciendo énfasis en los cambios de los procesos cognitivos humanos (Berry, 1996)

Por ejemplo, Jean Piaget formula en su teoría, el concepto de esquema. Afirma que “al principio, los esquemas son comportamientos reflejos, pero posteriormente incluyen movimientos voluntarios, hasta que tiempo después llegan a convertirse principalmente en operaciones mentales. Con el desarrollo surgen nuevos esquemas y los ya existentes se reorganizan de diversos modos. Estos cambios ocurren en una secuencia determinada y progresan de acuerdo a una serie de etapas”. Otro concepto clave de Piaget es el de estructura, la cual no es más que una integración equilibrada de esquemas.

Piaget afirma que la inteligencia humana tiene atributos tales como la organización y la adaptación. El primero permite secuenciar los sistemas de conocimiento a conductas diferentes en situaciones específicas. El segundo busca *estabilidad y cambio*, y está presente con dos elementos básicos: la asimilación (adquirir) y la acomodación (ajustar). La adaptación permite al sujeto aproximarse y lograr un ajuste dinámico con el medio que le rodea. La asimilación mental consiste en la incorporación de los objetos dentro de los esquemas de comportamiento, esquemas que nos son otra cosa sino el armazón de acciones que el hombre puede reproducir activamente en la realidad (García, 2005).

Para comprenderlos desde lo epistemológico, se amplían los conceptos de la trilogía Hombre – Artefacto – Contexto, por los criterios sistémicos que ellos implican (Blasc, 2000) Desde lo pragmático, es decir, desde el hacer tecnológico, se enfatiza en la capacidad de creación y generación versus la capacidad de apropiación y explotación de las tecnologías. Y finalmente, desde lo axiológico, considerando las condiciones ecosistémicas (geopolíticas, inclusive), de interacción social de los individuos dentro de una comunidad (Diamond, 2001).

En el caso colombiano se puede reconocer la capacidad de apropiación y explotación de las tecnologías. De hecho, es necesario describir la transición de la historia de la tecnología que se dio en Colombia, desde el descubrimiento y la conquista española, pasando por la migración de minorías de esclavos negros de África, exploradores de Inglaterra, Alemania y Francia, hasta hoy. El libro de Alberto Mayor Mora, *Inventos y patentes en Colombia 1930-2000*, presenta una radiografía del estado de las patentes, de los desarrollos y logros nacionales respecto a la capacidad de creación y generación de tecnología, como lo han hecho otros países del erróneamente llamado, primer mundo. Dice: “[...]por razones que aún no son claras, pero que están sin duda vinculadas causalmente con el carácter de sociedad colectivas por acciones como se organizaron las empresas mineras y de comercio en Antioquia, la región Medellín-Antioquia entró, desde 1905, a dominar en la patente de empresa sobre Bogotá-Cundinamarca y sobre el resto del país, como lo muestran las estadísticas[...]”. (Mayor, 2005)

De la suma de todo lo anterior, emerge la singular biografía de un país (Colombia), donde habita una larga y profunda crisis, tanto de diseñadores y manufactureros como de consumidores y usuarios de productos, que se intercepta con la evolución de la sociedad humana actual, en su totalidad. Dicha crisis no desconoce las potencialidades que existen y que han permitido fortalecer diferentes sectores productivos. La historia y evolución de las tecnologías y las personas que han venido de otros países, han modelado rasgos que son muy significativos hoy, en lo cultural y lo económico.

De ello se derivan varios aspectos cruciales:

1. La casi total inexistencia de desarrollo tecnológico propio (invenciones e innovaciones, patentes, etc.) que hayan estado en condiciones para enfrentar la competitividad global, dentro de las empresas de manufactura a través de los diferentes momentos en la historia del país (Colombia).
2. La fuerte estructuración y consolidación de modelos culturales foráneos tanto de diseño de productos como de manufactura y consumo, provenientes de países con poderosas y distintas

posiciones ideológicas, económicas y tecnológicas, sobre los modelos y valores de cultura locales.

3. Conceptos tales como supervivencia, adaptabilidad y mutación, entre otros, mirados desde el punto de vista de la socio-biología, sirven para explicar las estrategias geopolíticas en los últimos 500 años, entre las dos culturas (Europa – América), motivo de este análisis, donde convergen los particulares modelos políticos, económicos y tecnológicos en las diferentes épocas, y en variados sectores productivos.

El hecho tecnológico, desde la racionalidad del diseño y la ingeniería occidental, se caracteriza por ofrecer una visión de bienestar fundada en la idea de progreso (Leroi-Gourham, 1971). Es decir, este concepto plantea que la sociedad que incorpora tecnologías en su diario vivir, mejora sus satisfacciones y se cumplen sus expectativas.

Frecuentemente, los modos de pensamiento y práctica científica occidental, buscan hallar las *universalidades*. Desde el punto de vista de la *extensión*, significa que lo que es universal, es susceptible de aplicarse en todas partes. En términos de diseño de productos significaría que los métodos y prácticas del diseño británico, italiano o mexicano, serían aplicables a cualquier otro país. Desde la *comprensión*, las necesidades y deseos singulares, satisfechos por los artefactos se basan en la búsqueda del diseño de productos tanto en atributos y especificaciones orientadas a los usuarios, en el dominio de los sistemas y métodos de diseño ingeniería, como en recursos para la manufactura y en parámetros económicos (Baxter, 1999).



Autor: Juan Diego Ramos

Bibliografía

Baxter, M., *Product Design: a Practical Guide to Systematic Methods of New Product Development*, Inglaterra, Stanley Thornes, 1999.

Berry, John W., *A cultural ecology of cognition. Human abilities. Their nature and measurement*, Nueva Jersey, Laurence Erlbbaum associates publishers, 1996.

Blasc Font de Rubinat, Jaume, *Los artefactos y sus proyectos*, Barcelona, Ediciones UPC- Catalunya, 2000.

Darwin, Charles, *El origen y la evolución de las especies*, Barcelona, Ediciones del Serbal, 1983.

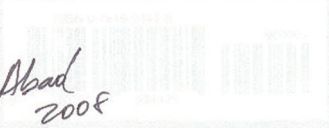
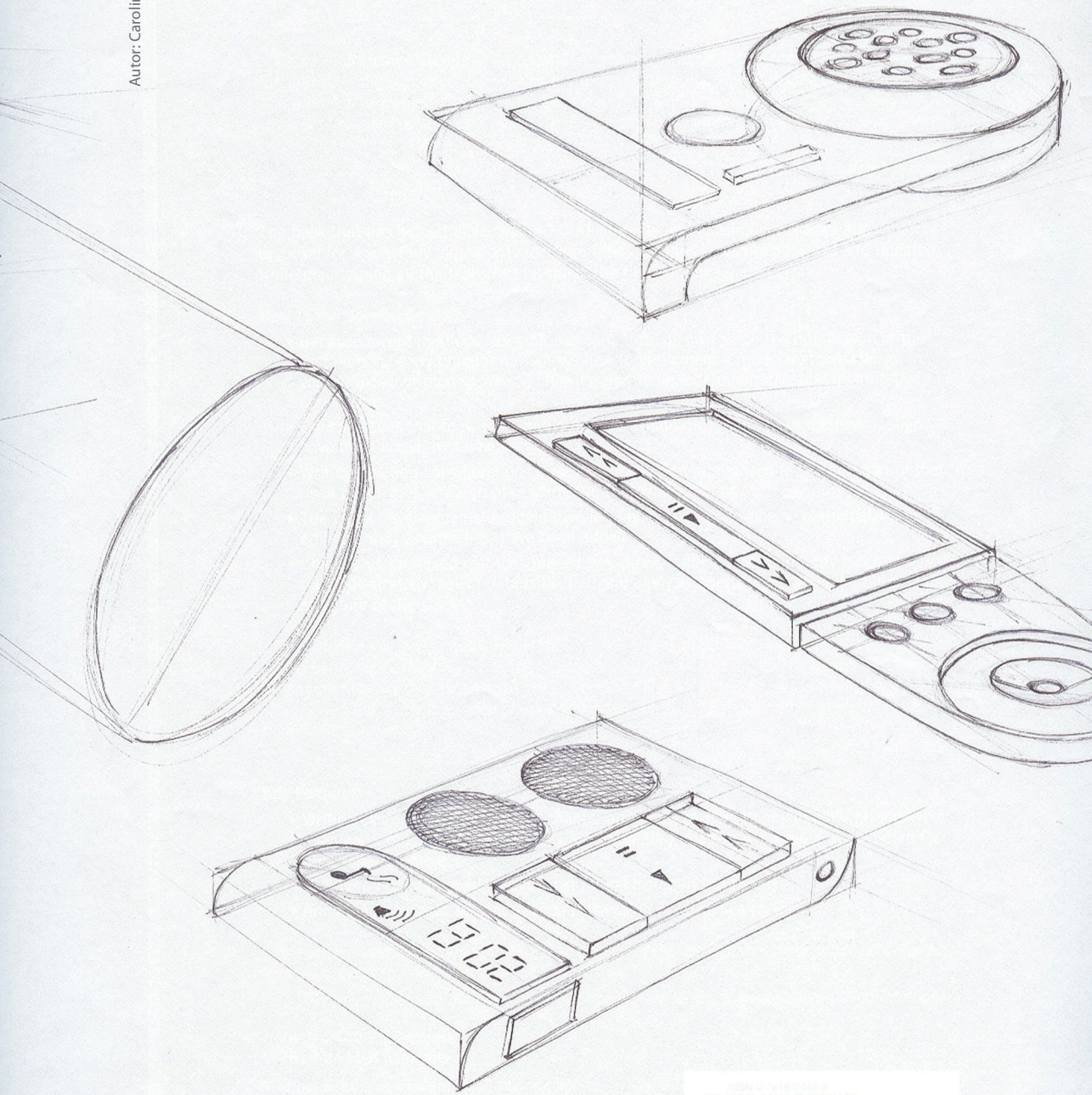
Diamond, Jared, "La evolución de los gérmenes y las armas de fuego" en: *Evolución: sociedad, ciencia y universo*, (1st. edition, 1998), Cambridge, Darwin College, 2001.

García González, E., *Piaget: la formación de la inteligencia*, s.l., Madrid, Trillas-Eduforma, 2005, 128 p.

Leroy-Gourham, André, *El gesto y la palabra*, Caracas, Universidad Central de Venezuela, traducción Felipe Carrera D., 1971, p.277.

Mayor, Alberto, *Inventos y patentes en Colombia 1930-2000*, Medellín, Fondo Editorial ITM, 2005.

Autor: Carolina Abad



REFLEXIONES

Sobre la arqueología industrial en Antioquia

Juan Diego Ramos Betancur
Luis Fernando Sierra Zuluaga

Figura 1.
Instalaciones de la antigua ferrería Amagá. 2004



Fuente: tomada de (Ramos, 2007)

Introducción

A principios del mes de agosto del 2004, por iniciativa del Rector de la Universidad EAFIT, Dr. Juan Luis Mejía A., se emprendió un proyecto de indagación sobre el desarrollo histórico del departamento, denominado Arqueología del Objeto Industrial en Antioquia. ¿Por qué acerca de la tecnología? Nos permitimos citar a los señores don Camilo A. Echeverri y al Dr. Manuel Uribe Ángel en su libro *Estudios industriales sobre la minería antioqueña en 1856*: “La política

i la literatura absorben hoy en la N. Granada la atención del público, i las columnas de los periódicos [...] Pero al lado de la política i la literatura se presenta reclamando nuestra atención, por su grandor e importancia, la cuestión industrial” (Uribe, 2007).

Desde agosto del 2004 hasta diciembre del mismo año, se realizaron indagaciones en temas diversos que iban desde la minería hasta la industria, pasando por la agricultura y el comercio. Se realizaron visitas a la antigua Ferrería Amagá, figura 1, a Titiribí, a la empresa Coltejer en Itagüí, a talleres de los Ferrocarriles en Bello, entre muchas otras actividades. Estas visitas sirvieron, más que para identificar y coleccionar información, para entender la magnitud y complejidad de la tarea, y las relaciones entre cada uno de estos desarrollos industriales con los otros.

Hasta enero del 2005 no se aclaró que el punto de partida sería la minería. A partir de allí, se definió la primera parte del proyecto como *“El estudio de la historia de la tecnología minera en Antioquia”*. En entrevista, ese mismo año, con el Dr. Gabriel Poveda Ramos, una de las personas más expertas en este tema, confirmó la importancia de ahondar en el mismo para dar una mirada más profunda y detallada a las herramientas, equipos, técnicas, lugares, personajes, y así poder ver sistémicamente la situación del sector desde el lejano pasado prehispánico hasta el presente.

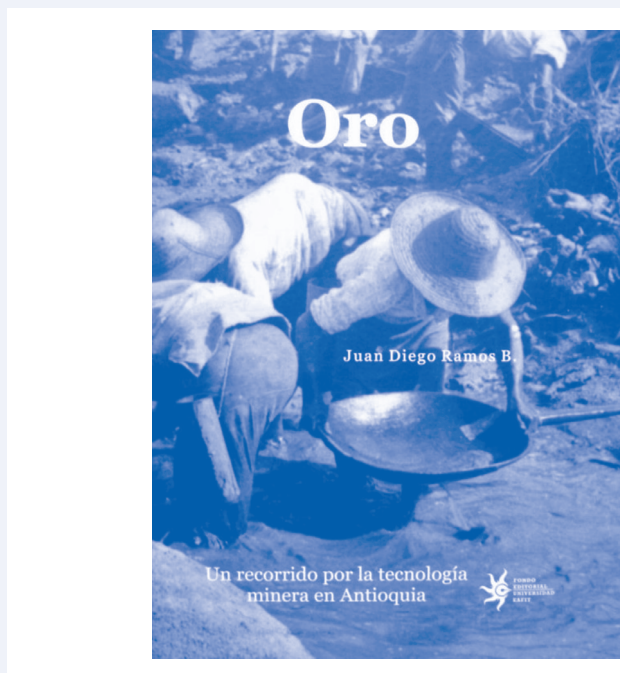
De este trabajo que duró tres años, se lograron dos resultados significativos para el grupo de investigación:

1. Un libro de 600 páginas, figura 2, ricamente ilustrado, diverso en temas y en un lenguaje claro y accesible a personas del común.
2. Una muestra de artefactos del sector de minería auro-argentífera. La exposición de la tecnología asociada a la minería del oro en Antioquia, se realizó entre el 25 de octubre y el 19 de noviembre de 2005 en la Biblioteca Luis Echavarría Villegas de la Universidad EAFIT. Esta muestra incluía fotografías, imágenes de documentos, textos impresos, y colecciones de rocas, maquinaria y equipos, herramientas y piezas asociadas a los procesos de exploración,

explotación, procesamiento, beneficio y subproductos del oro, como son las piezas de joyería y orfebrería.

Figura 2.

Portada del libro Oro que recopila todo el proceso investigativo de arqueología del objeto industrial aplicado a la minería auro-argentífera en Antioquia



Fuente: tomada de (Ramos, 2007)

Desde el punto de vista metodológico, se propuso que esta muestra comenzara su recorrido con los importantes trabajos de orfebrería y metalurgia realizados por la cultura Quimbaya, 500 años antes de nuestra era, aproximadamente, pasando posteriormente por la etapa de la Conquista llevada a cabo por los europeos, buscando las minas y el oro de las comunidades indígenas. Luego, las exploraciones y explotaciones en la Colonia, y finalmente las tecnologías y conocimientos traídos por los europeos en los siglos XIX y XX, hasta las técnicas modernas y más recientes en este nuevo siglo.

El objetivo general de esta iniciativa ha sido recuperar, documentar y divulgar gráficamente (fotografías, dibujos, maquetas, material informativo, etc.) el *patrimonio tecnológico* desde lo artesanal hasta

lo industrial (herramientas, aparatos, máquinas, utensilios y sistemas técnicos afines) que haya contribuido al desarrollo de Antioquia, desde los primeros asentamientos indígenas y europeos (período Prehispánico, Conquista, Colonia, surgimiento de la República) hasta hoy.

Sin embargo, cabe destacar que la idea, tal y como se mencionó al comienzo de éste artículo, es entender cómo ha sido el desarrollo tecnológico de la región antioqueña a lo largo de su historia; por lo tanto, nuestra investigación busca continuar con cada uno de los sectores económicos que han hecho de Antioquia una región destacada dentro del ámbito nacional, debido a la capacidad de sus gentes para iniciar grandes empresas en cada uno de los diferentes sectores.

Para ello, continuaremos nuestro estudio con la agricultura, el comercio y finalmente con el desarrollo de la industria manufacturera.

La minería impulsó la fundación de poblados con el fin de dar alojamiento tanto a los mineros como a sus familias; y por ende, dio origen a los primeros cultivos regulares, necesarios para la alimentación de los grupos familiares; cultivos que luego se convirtieron en una floreciente actividad económica, como lo ejemplifican los cultivos de café y banano entre otros.

Posteriormente, y debido a la topografía y características propias del territorio antioqueño, con vías de acceso difíciles o inexistentes, y la necesidad de proveer a los diferentes centros los productos necesarios para su subsistencia, además de los nuevos asentamientos originados por el proceso de colonización, se sentaron las bases para el surgimiento de dos florecientes actividades económicas de gran repercusión: el comercio y el transporte de bienes.

Evidentemente, estas nuevas actividades económicas requirieron y demandaron a su vez más y más productos, que al ser difíciles de conseguir (por ser importados) y de transportar a las regiones apartadas del territorio, originaron el surgimiento de las primeras actividades industriales, que luego harían de nuestro departamento y del valle de Aburrá, la cuna de la industrialización del país.

La relación existente entre el desarrollo tecnológico de una sociedad y su capacidad productiva, define su autonomía económica, riqueza y bienestar de sus habitantes. Por lo tanto, la identificación de las diferentes tecnologías llegadas a la región antioqueña, la posterior producción industrial de algunas de ellas, así como la aplicación de conocimientos técnicos, constituyen un factor fundamental para comprender el origen y desarrollo económico e industrial de la región.

Origen y metodología

La arqueología industrial es una actividad de estudio y preservación de los bienes y las edificaciones industriales, que viene configurándose desde hace medio siglo. En 1955 aparece un artículo escrito por Michael Rix de la Universidad de Birmingham, Inglaterra, donde hace evidente la importancia de constituir una disciplina que valore y recupere la información asociada a algunas edificaciones y tecnologías del pasado industrial británico.

A partir de allí, se formalizan iniciativas académicas para consolidar esta área de estudio y, en Europa, se crean instituciones para proteger el patrimonio industrial, arquitectónico y tecnológico. Se constituye *The International Committee for the Conservation of the Industrial Heritage* (TICCIH) con subsedes en varios países. Al parecer, este organismo internacional tuvo su origen en los congresos que, desde 1973, organizaba el Museo de Ironbridge, en Coalbrookdale, Inglaterra, lugar de origen de la denominada Revolución Industrial.

No es casual que sea Inglaterra el primer país en constituir la arqueología industrial como un campo de estudio. Es el país donde la tecnología industrial emerge con más fuerza y al mismo tiempo el que la reemplaza o la olvida con mayor rapidez. Algunos pioneros en esta profesión se dieron cuenta de que se venían desapareciendo, sistemáticamente, los sitios y las piezas de su pasado industrial, y no existía una actividad que diera cuenta de métodos de preservación, identificación y documentación de todos ellos.

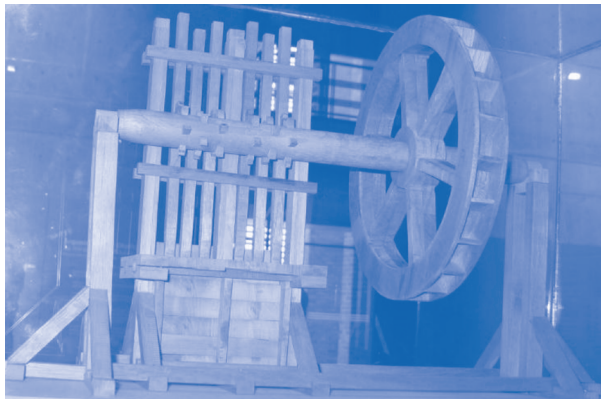
Era necesario, entonces, estructurar una disciplina científica que apoyara el estudio de los ambientes industriales y su contexto: las herramientas, las máquinas, figura 3, y hasta las empresas de manufactura en sus diferentes sectores. Igualmente, el estudio de

fábricas, sistemas de energía y transporte, y aún pueblos y ciudades relacionadas a las diversas actividades industriales.

La arqueología industrial surge cuando se reconoce que los campos de investigación deberían ser diferentes a los estudios históricos tradicionales, los cuales eran vistos, generalmente, como departamentos académicos de algunas instituciones.

Figura 3.

Réplica del molino antioqueño.



Fuente: tomada de (Ramos, 2007)

¿Qué es arqueología industrial?

Se denomina arqueología industrial a una de las ramas más recientes de la arqueología. Se dedica especialmente al estudio de los sitios, las infraestructuras, los aparatos y las máquinas que allí se usaron, como parte de la historia cultural, económica y tecnológica de una sociedad.

Sus herramientas de trabajo están orientadas a la aplicación o desarrollo de métodos de análisis, registro, catalogación y por supuesto, a la preservación de instalaciones antiguas: edificaciones, maquinaria, equipos y todo lo que aporta a recuperar los conocimientos sobre el sitio y la tecnología, objeto del estudio.

Esta disciplina entiende que cada sociedad tiene sus propios ritmos de transformación de la cultura material e inmaterial. Cuando un individuo inventa o desarrolla un artificio tecnológico, este dispo-

sitivo produce, con frecuencia, un enorme impacto sobre ella. Por esa razón, la arqueología industrial no subestima a los artefactos técnicos y las consecuencias que traen sobre la dinámica económica, tecnológica, política y cultural de una sociedad.

A partir de allí, estudia las consecuencias del proceso de transformación de la sociedad a causa de los procesos de industrialización en los distintos países. De esta manera, contribuye al entendimiento y al impacto del desarrollo de la tecnología a través del tiempo, en su propio contexto, con la ayuda de la ciencia, la historia y la ingeniería. Esto significa que puede entenderse como una actividad interdisciplinaria que, por medio de la aplicación de métodos en diferentes áreas, analiza y reconstruye el pasado de manera integral.

La calidad de las fuentes de información es vital para el adecuado estudio de un proyecto de A.I. (arqueología industrial). Para abordar este tipo de proyectos no sólo es necesario recurrir a fuentes escritas; — en ocasiones éstas se encuentran intervenidas por los juicios del autor o de la institución que la realiza— es conveniente, además, ubicar y analizar los restos encontrados, figuras 4 y 5, entrevistar a las personas de la zona o a quienes hayan sido testigos de la historia, identificar referencias fotográficas, filmicas, y cualquier otra fuente que permita al investigador relacionar el contexto con el artefacto y su “biografía”. La metodología de la arqueología tradicional se integra, como puede verse, con otros métodos y procedimientos para avanzar en la recuperación del conocimiento del objeto estudiado.

Figura 4.

Antiguos y diversos objetos para análisis, catalogación y exhibición en la Muestra de Arqueología del Objeto Industrial en EAFIT



Autor: Juan Diego Ramos

De otro lado, a la concepción tradicional de arqueología, se le ha agregado el concepto de industrial. Sobre esto hay disparidad de opiniones, ya que sería necesario definir qué es lo “industrial”. Industria viene del latín *industrius*, diligente, industrioso. *Struo* significa construir, arreglar, preparar, edificar. Esta palabra también nos remite al pasado con la denominada “Revolución Industrial”. Y significa, entre muchas cosas, que las máquinas hayan reemplazado la fuerza y el intelecto humanos. En pocas palabras, sería razonable admitir que la arqueología industrial es la disciplina que estudia los desarrollos tecnológicos o de artefactos, surgidos desde la Revolución Industrial hasta hoy.

Bajo esta lógica, las innovaciones tecnológicas de los últimos doscientos años, han dejado unas huellas profundas en determinados procesos industriales y en lugares específicos de las comunidades alrededor del mundo. Y es allí, donde la arqueología industrial fija su atención, ya que se viene perdiendo mucho conocimiento del papel que éstas han tenido en una cultura, y porque la rápida sustitución de tecnologías va suplantando unas por otras, y los cambios en el interior de una comunidad no logran documentarse. Son parte fundamental de la historia de un pueblo. Si fuese en un individuo, sería como olvidar los eventos fundamentales de su pasado. Sería una persona con la memoria de su vida, pero fragmentada e incompleta.

Figura 5.
Batea de madera de un barequero de Santa Fe de Antioquia



Fuente: tomada de (Ramos, 2007)

Como la arqueología industrial es esencialmente un proyecto interdisciplinario, sitios como viejos molinos, plantas de textiles y acerías, canales, puentes, minas de carbón para generar energía y ferrocarriles, etc., hacen necesaria la participación de arqueólogos, historiadores, antropólogos, arquitectos, ingenieros, diseñadores, etc.

Una finalidad fundamental de la A.I. es la preservación de las tecnologías que han participado del desarrollo tecnológico de la sociedad.

Los sitios industriales incluyen actividades comerciales, industriales y de toda índole. Es por esto que hay profesionales especializados en temas como:

- Molinos (usos metalmecánicos – textiles y agrícolas).
- Canales y distribución de agua.
- Puentes.
- Ferrocarriles (incluyendo estaciones, vías y trenes).
- Puertos.
- Plantas manufactureras.
- Minas y sus respectivos equipos.
- Túneles.
- Medios de transporte.
- Estaciones de energía.

Un mejor ejemplo de las diferencias entre la arqueología tradicional y la A.I. está asociado al contexto de estudio. La arqueología tradicional se enfoca en el estudio minucioso de los remanentes o vestigios que permanecen bajo tierra. En cambio, la A.I. concentra su estudio en los artefactos que se encuentran sobre la superficie, tal como los apreciados en las figuras 6 y 7. Para el caso de la minería, incluye los estudios sobre minas, galerías y socavones.

Figura 6.
Laminador para joyería. Colección particular

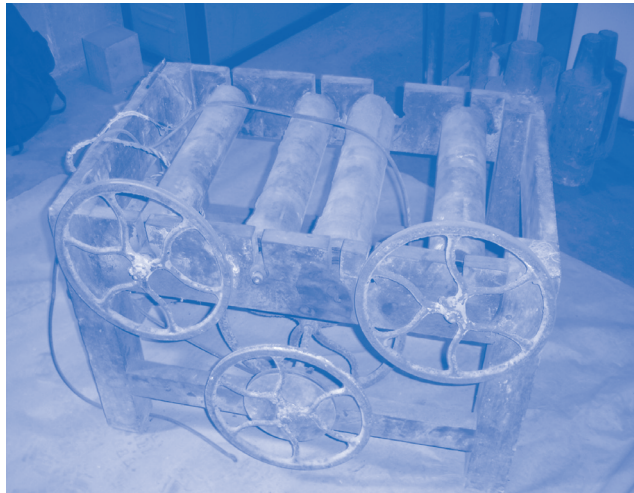


Fuente: tomada de (Ramos, 2007)

La A.I. es una disciplina ecléctica e integral, que desarrolla su propio enfoque y método de investigación y estudio.

Aunque existen, en la actualidad, cientos de organizaciones que se interesan en la A.I., muchas de ellas se enfocan hacia un campo en particular de la disciplina. Sin embargo, existen dos organizaciones que sirven como “sombrija unificadora” que trata de agrupar los diferentes esfuerzos para la preservación del patrimonio industrial en sus respectivos países. La más antigua es la Asociación para las A.I. (Association for Industrial Archeology / A.I.A.) establecida en Inglaterra, la cuna de la revolución industrial; y la Sociedad para la A.I. (The Society for Industrial Archeology / S.I.A.) en EEUU, fundada en 1971 con el auspicio del Instituto Smithsonian.

Figura 7.
Mesa amalgamadora. Al parecer fue hecha por Gilberto Escobar de la Fundación Escobar, hoy desaparecida



Fuente: tomada de (Ramos, 2007)

Aunque un gran número de instituciones en los EEUU ofrece cursos o programas en A.I., solo el MTU (Michigan Technological University) ofrece un pregrado específico en arqueología industrial, pero, curiosamente, la mayoría de especialistas y practicantes de la A.I. no poseen ningún grado relacionado. Son autodidactas.

Aunque en la mayoría de los casos la A.I. es un modelo histórico de investigación, la investigación necesita también proveer un método científico que pueda integrarse a este tipo de disciplina en particular, aunque algunos métodos son ampliamente divergentes en sus aproximaciones, como es el caso con muchos métodos cuantitativos y cualitativos. Es necesario desarrollar métodos más concisos y precisos para esta línea de la investigación.

En la actualidad hay grupos de investigación en A.I. y varias instituciones que fomentan su desarrollo, entre la cuales vale la pena mencionar algunas:

(SIA) Sociedad de Arqueología Industrial

La SIA tiene su sede en Houghton, Michigan, USA y está adscrita al Departamento de Ciencias Sociales del Michigan Technological University. Entre sus objetivos centrales se encuentra:

Fomentar el estudio, interpretación y preservación de los sitios industriales históricamente significativos, así como sus estructuras, artefactos y tecnología, figuras 8 y 9, así como proveer foros para su discusión e intercambio de información.

La sociedad (A.I) promueve el valor de preservar nuestra herencia industrial.

Entre sus actividades está la publicación de una revista especializada en el tema (IA – *The Journal of the Society for Industrial Archeology*), la cual publica material original concerniente a la herencia industrial, con énfasis en los Estados Unidos. También se hace extensiva a edificaciones, procesos, artefactos, maquinaria, complejos y paisajes relativos al desarrollo de industrias y las sociedades industrializadas (instalaciones, plantas, infraestructura, patrimonio industrial)

La sociedad recibe artículos y estudios que busquen describir y explicar el pasado industrial, incluyendo artículos sobre preservación, adaptación y nuevos usos, así como la interpretación de plantas industriales, obras de ingeniería relativas, y paisajes o sitios de Interés.

Campos de estudio (entre otros):

- Hierro y acero (Industrias).
- Transportes.
- Generación de energía y transporte de agua.
- Ferrocarriles.
- Edificios – construcciones – estructuras (Incluidas vías y puentes).
- Agricultura y procesamiento de alimentos.
- Electrónica – electricidad y comunicaciones.
- Industrias manufactureras en general.

Figura 8.

Modelos en madera de los “sobarbos”, partes fundamentales en los famosos molinos californianos J. M. Estrada.



Fuente: tomada de (Ramos, 2007)

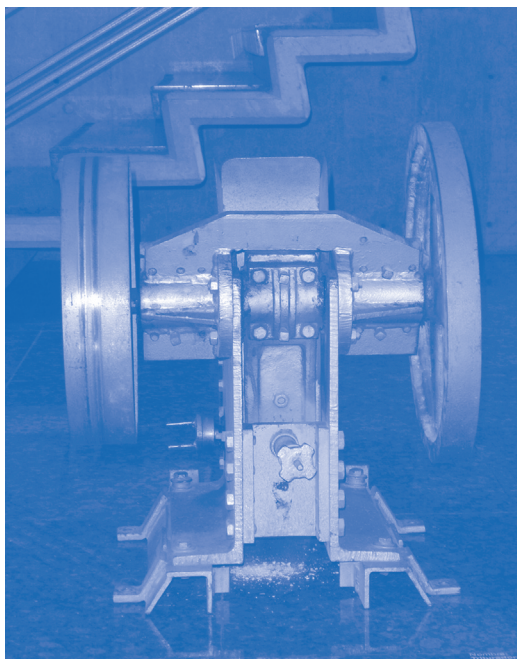
Según Lawrence F. Gross en su artículo “Apartes” en: *Industrial archeology: an aggressive agenda* (Gross, 2001), la arqueología indus-

trial apareció en América a principios de los setenta, y la fundación o establecimiento de la SIA fue en 1976. A partir de allí, se consolida en Estados Unidos la “Sociedad para la Cultura Material de la Industria” (*Society for the Material Culture of Industry or SM & CI*).

Los norteamericanos, como nación de indudable liderazgo industrial y manufacturero, vienen adelantando proyectos para preservar esta tradición, la que se ha visto amenazada por las políticas gubernamentales de trasladar las manufacturas a países como China, Singapur o Malasia.

La A.I. no es una actividad de multitudes; es, esencialmente, una preocupación de algunas personas de la academia y la industria, interesadas en dejar un legado importante de su pasado a las nuevas generaciones.

Figura 9.
Machadora o trituradora de quijada, expuesta en la Universidad eafit.
Propiedad del Departamento de Geología



Fuente: tomada de (Ramos, 2007)

Desde sus orígenes, la SIA (Sociedad de Arqueología Industrial) ha buscado dos objetivos primordiales:

1. La búsqueda y el entendimiento o disfrute de los remanentes de los inicios de la actividad industrial.
2. La investigación, el rescate y la interpretación de sus significados. Generalmente los miembros de la SIA buscan ambos aspectos, pero en diferentes proporciones, sobresaliendo el primer aspecto de los arriba mencionados.

El objetivo hoy día, dice Gross, es promover ante todo el último aspecto, y por supuesto hay que tener claras las diferencias con la “Sociedad para la Historia de la Tecnología”, que aunque similares en contexto, son algo diferentes en la búsqueda de sus objetivos y estudios basados en los aspectos social, laboral y científico que se dieron en la era industrial, pero no consideran estudiar, ni clasificar como verdaderos arqueólogos (aquellos que deben ensuciarse las manos) todo el “hardware” tecnológico que ayudó al desarrollo industrial.

Como se dijo antes, la multidisciplinariedad es una gran fortaleza para descifrar, desde diferentes puntos de vista, documentos y testimonios, monumentos del pasado y toda la herencia industrial.

La arqueología industrial busca nuevas maneras de difundir su mensaje y lograr nuevas formas de pensar y evaluar estos vestigios, para que trasciendan más allá de la simple arqueología, del medir y catalogar. Ésta es la base, pero no el fin de la A.I. El fin es informar sobre los análisis históricos para alentar debates académicos, y para demostrar el valor de unos puntos de vista, entre muchos otros.

El enfoque de nuestra investigación

Cabe anotar sin embargo que, como tema de estudio, nuestra preocupación —además de las descritas anteriormente— se encuentra orientada, en gran medida, a los utensilios o artefactos producidos por dichas tecnologías; es decir, a los objetos en sí mismos y su estrecha relación no sólo con el hombre —como usuario del

producto— sino también con el impacto que éstos generan en su entorno y vida cotidiana. Esto, con el fin de entender la repercusión cultural en los grupos sociales que tuvieron contacto con dichos artefactos y tecnologías, e igualmente comprender cómo esto pudo afectar sus costumbres y la apropiación de conocimientos y destrezas aplicadas para evolucionar y adaptar los artefactos a las necesidades de nuestra región, lo cual, a su vez, dio origen al comienzo de los primeros talleres industriales, con los cuales se forjaría más tarde nuestra industria manufacturera.

Hemos querido darle mayor énfasis al término “objeto industrial”, de manera que no sólo entendamos los orígenes, las tecnologías e infraestructuras necesarias para producir dichos artefactos o máquinas, sino también la evolución técnica de los objetos o productos en sí mismos, a través de su devenir histórico, con el fin de observar, mediante un exhaustivo análisis, sus orígenes, su estructura funcional, sus materiales, procesos de manufactura, arquitectura, mecanismos, las diferentes mejoras en sus partes, etc., figura 10. Todo ello con el fin de entender los cambios surgidos a través del tiempo; así como también la relación con otros objetos, las condiciones de uso por parte de sus usuarios —analizadas a través de su ergonomía y flujos de energía e información, entre otros—, al tiempo que se descubren las redes históricas que permiten entender el por qué de la evolución de los objetos analizados.

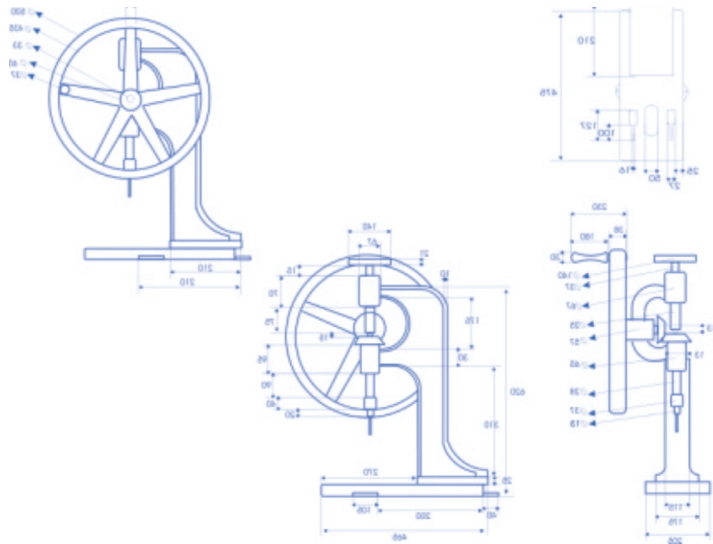
El proceso metodológico que hemos aplicado desde nuestra perspectiva, comienza con la recopilación de fuentes de información primarias y secundarias, para luego clasificarlas y ordenarlas de manera que podamos identificar un inventario de máquinas, herramientas y artefactos, entre otros, que permitirá recuperar y valorar el patrimonio tecnológico, así como identificar los desarrollos propios y autóctonos, que permitirán evidenciar elementos de identidad cultural y de talento individual, comercial y empresarial de nuestra región.

Este reconocimiento del desarrollo tecnológico en los diferentes sectores económicos de la región, permitirá, en futuras investigaciones, orientar las tendencias de cada sector, así como las posibilidades de generar un desarrollo propio para crear empresas,

sustituir importaciones o abrir nuevas posibilidades a los empresarios del país.

Figura 10.

El levantamiento de planos y modelaciones permite identificar, entre otros, los diferentes componentes, partes y dimensiones de los objetos analizados, indispensables para su análisis. (En la imagen aparecen las diferentes vistas de un taladro manual utilizado en la fabricación de joyas de oro)



Fuente: tomada de (Ramos, 2007)

Para lograr el avance en nuestro proyecto, así como para difundir el mensaje de nuestros temas de estudio e investigación, hemos conformado en el departamento de Ingeniería de Diseño de Producto un semillero de investigación, ARKIA, el cual pretende atraer a todos los estudiantes y personas interesadas en los propósitos de la arqueología del objeto industrial.

Dicho semillero, además, se encuentra abierto a los diferentes temas que desde el punto de vista histórico y tecnológico, asociado al desarrollo de productos, propongan cada uno de sus integrantes como posibles temas de investigación.

Para tal efecto, el objetivo primordial del semillero —hasta el momento—, consiste en recuperar, documentar y divulgar gráficamente el patrimonio tecnológico partiendo desde lo artesanal,

hasta lo industrial (utensilios, herramientas, aparatos, máquinas y afines), asociados al desarrollo económico de Antioquia desde el período prehispánico hasta el presente.

Para ello, se han definido unos propósitos metodológicos que buscan entre otros objetivos:

- Aprender a levantar bases de datos de material bibliográfico de los temas de estudio, en libros, documentos, revistas, internet etc.
- Analizar y documentar los diferentes procesos productivos para cada uno de los sectores económicos de la región.
- Identificar y analizar los diferentes utensilios, herramientas, máquinas y procesos productivos, relacionados con los temas de estudio.
- Indagar sobre los orígenes y evolución tecnológica de cada uno de los artefactos analizados, así como la ubicación en su contexto de uso e impacto en la región.
- Identificar y valorar el aporte tecnológico de las empresas y personajes en el desarrollo industrial de la región.
- Clasificar y categorizar la información obtenida como parte de un proceso de investigación.
- Participar activamente en la divulgación de los temas de estudio mediante presentaciones, artículos, exposiciones, libros etc.

Por lo tanto, es claro para nosotros que reconocer el pasado y la memoria tecnológica de un pueblo, a través de los estudios en A.I., es arrojar un conocimiento que puede ser convertido por la industria en soluciones óptimas, en términos de desarrollo de productos técnicos, adecuados al contexto económico, social y cultural de nuestra región.

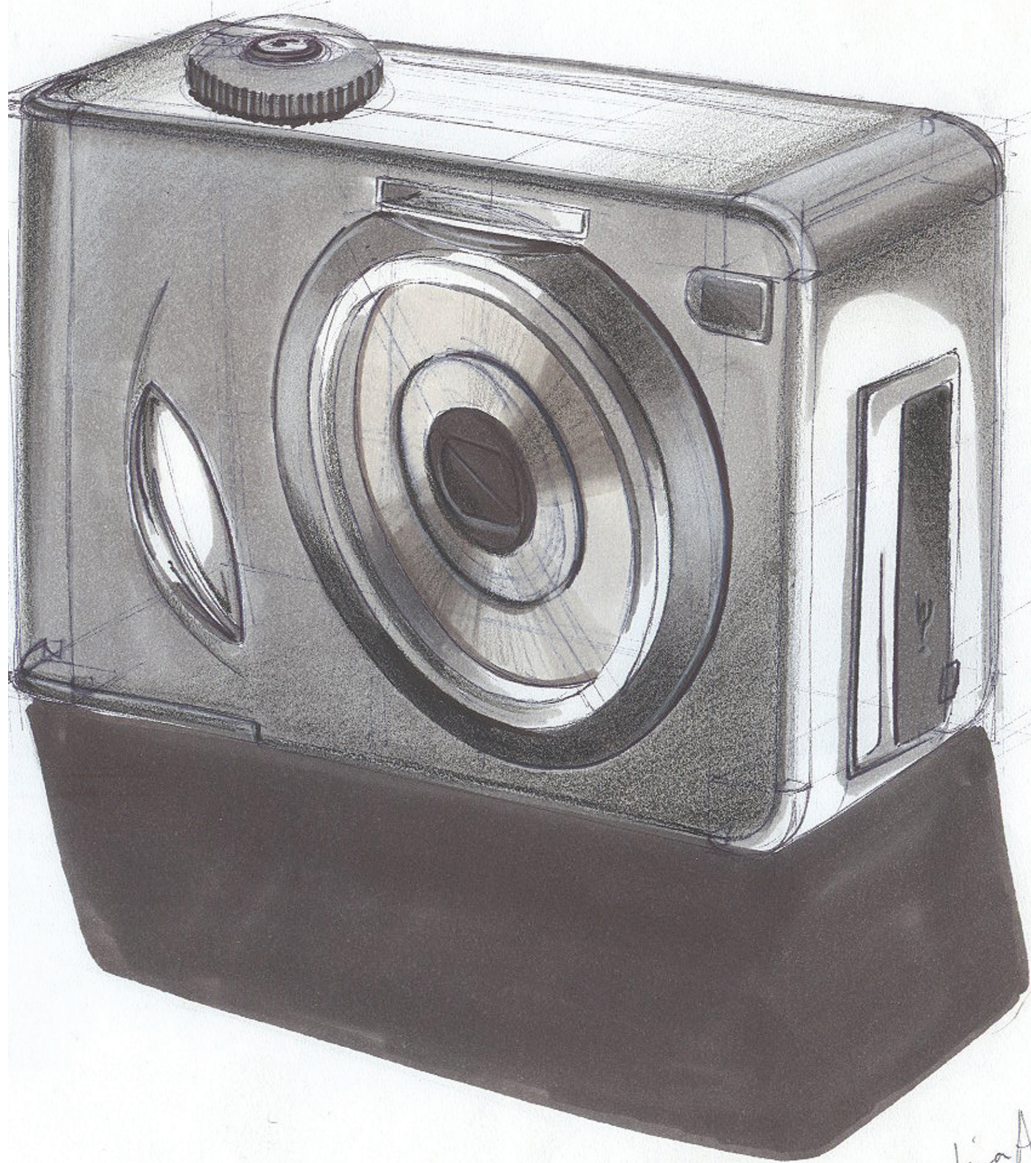
Bibliografía

Gross, Lawrence. "Apartes" en: *Industrial archeology: an aggressive agenda*, s.l. The Journal of the Society for Ind. Arch., vol. 27, núm. 1, 2001, s.p.

Ramos, Juan Diego, *Oro: un recorrido por la tecnología minera en Antioquia*, Medellín, Fondo Editorial Universidad EAFIT, 2007.

Uribe Ángel, Manuel y Echeverri, Camilo A. , *Estudios industriales sobre la minería antioqueña en 1856*, Medellín, Imprenta de Lince, s.f; reimpresión: Serie Rescates, Medellín, Fondo Editorial Universidad EAFIT, 2007.

Autor: Carolina Abad



Carolina Abad
2008

DESARROLLO DE UN NUEVO CONCEPTO DE PRODUCTO para el sector agroindustrial y transporte en la empresa IGUANA DESIGN.¹

Marcela Velásquez Montoya
Asesora: María Cristina Hernández

Introducción

Robert G. Cooper afirma que los nuevos productos son la llave para la prosperidad de la compañía, es por esto que las empresas deben tener una estrategia definida hacia el Desarrollo de Nuevos Productos (DNP) y su estructura corporativa claramente definida hacia una cultura de innovación (Cooper, 1998).

Este artículo describe el proceso para el Desarrollo de un Nuevo Concepto (DNC) de producto para el sector de transporte y agroindustrial para la empresa Iguana Design, dividido en tres secciones principales: marco teórico, análisis de Iguana Design y desarrollo del nuevo concepto.

El marco teórico o revisión de la literatura, se enfoca en temas claves como Nuevo producto (según lo corporativo y DNP), proceso de innovación (para el DNP) y análisis de la empresa (estratégico). En la segunda parte, se presentan antecedentes de la empresa y un análisis del perfil en donde se analizan aspectos de la identidad de la misma.

Se resalta en esta sección la propuesta de un modelo de innovación para el DNP llamado Iguana Innova que surge del análisis y comparación de cinco modelos existentes creados por autores

¹ Este artículo fue originalmente publicado en la serie Cuadernos de Investigación, Documento 60-032008, ISSN 1692-0694 de la Universidad EAFIT. Dicha publicación autoriza explícitamente la reproducción total o parcial para fines educativos citando la fuente.

reconocidos en el tema y el antiguo modelo para el DNP de Iguana Design.

Finalmente, en la tercera parte, se desarrollan detalladamente las primeras cuatro etapas del modelo de innovación Iguana Innova propuesto en la sección anterior: idea, clarificación de la tarea, diseño conceptual y corporificación. Estas primeras etapas se denominan *Fuzzy Front End* (FFE), conocido como una de las grandes oportunidades para el mejoramiento general del proceso de innovación en una empresa.

Cada vez es más evidente la importancia de prestar toda la atención posible a las actividades de esta primera etapa que precede a la fase del proceso formal y estructurado del DNP y la comercialización; y así aumentar el valor, la cantidad y probabilidad de obtener grandes beneficios con el producto final.

Las etapas restantes: diseño de detalle, manufactura - producción y comercialización, son propuestas para desarrollar como trabajo futuro para Iguana Design.

En la primera etapa del modelo Iguana Innova (Idea), se hace énfasis en el análisis de la situación estratégica de la empresa tanto interna como externa. El análisis interno se justifica después de fundamentos teóricos desde el marco teórico del proyecto y la práctica profesional en Anndur – Delft, Holanda. El análisis externo se basa en fundamentos prácticos a partir de investigaciones en los sectores de transporte y agroindustrial holandés y colombiano. Aunque el sector holandés sirve como base de análisis, el estudio se orienta sólo a los sectores nacionales en donde se definen tres contextos específicos para enfocar la investigación: floricultivos, frutícola y lechero.

Los resultados de la investigación demuestran que uno de los principales factores que influenciaron el desarrollo y evolución de la agricultura fue el transporte, tanto interno como externo.² El transporte ha reducido el tiempo y el espacio pues ha hecho posible la expansión comercial, disminución de tiempos en las cosechas, mayor empleo y un nivel de vida más elevado.

2 Según conversación el día 15 de mayo del 2004 con Gerjan Hultnik director de ATO "greenhouse" uno de los cultivos más productivos en la cosecha de pimentón y tomates en las afueras de Delft en Holanda, y Dr. M. Dekker estudiante de doctorado y asesor en el curso "Environmental studies" de la Universidad Erasmus de Rotterdam.

En la segunda etapa del modelo (clarificación de la tarea), se realiza un BRIEF³ general del proyecto y un PDS⁴ como los requerimientos esenciales de diseño para el DNC. En la etapa 3 (diseño conceptual), se trata de eliminar los paradigmas realizando un análisis funcional del concepto a diseñar.

La etapa 4 (corporificación) se basa en los elementos importantes que arroja la investigación sectorial; estos elementos fueron, la mayoría, comunes entre los contextos investigados. Es en esta etapa donde se generan, evalúan y seleccionan conceptos para la propuesta final.

Algunos de los elementos resultantes de la investigación fueron:

- La diferenciación entre la carga liviana - carga pesada y volumen.
- El cuidado de la carga y la ergonomía.
- Tiempo y velocidad de transporte.
- Elementos estándar y tecnología

La propuesta del nuevo concepto para Iguana Design es REX, un chasis multifuncional que reúne los puntos anteriores mejorando las condiciones de trabajo y disminuyendo pasos innecesarios en el transporte de carga, permitiendo transportar carga liviana a cortas distancias dentro de contextos nacionales. Este concepto final es la base para la continuación del proceso de innovación, es decir, las últimas cuatro etapas que son propuestas para desarrollar como trabajo futuro.

Marco teórico: revisión de la literatura

El marco teórico se enfoca en varios temas oportunos para soportar teóricamente el desarrollo de un nuevo concepto: nuevo producto,

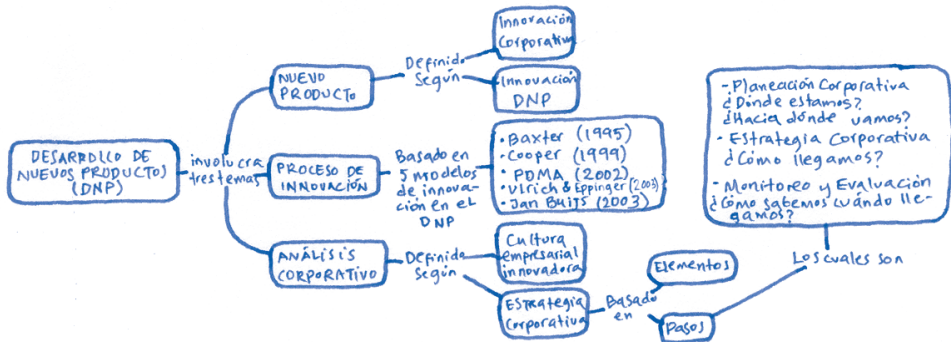
3 El Brief es un documento que tiene como fin orientar a la empresa o al grupo de profesionales que intervienen en el proceso de desarrollo de un producto (ingenieros, diseñadores, gerencia, etc.) a alcanzar un objetivo.

4 Product Design Specification o PDS como se ha abreviado, es una descripción precisa de los beneficios mínimos que ofrece un producto. Son las "demandas y deseos" expresados por los usuarios, pero presentados en términos de "requerimientos técnicos" de manera que éstos permitan desarrollar alternativas de diseño en la etapa de conceptualización.

proceso de innovación en el desarrollo de nuevos productos y análisis corporativo. Estos temas fueron seleccionados teniendo en cuenta que son básicos en la formación académica del Ingeniero de Diseño de Producto y oportunos para el DNP. Son presentados a manera de mapa conceptual en la figura 1.

Para la definición de Nuevo Producto, se involucran conceptos de innovación haciendo la distinción entre un punto de vista general corporativo y un punto de vista del DNP.

Figura 1.
Desarrollo de Nuevos Productos



Autor: Marcela Velásquez

Para el planteamiento de la dimensión corporativa se citan autores como (Cooper, 1998); (Lambin, 1995); (Tidd, 2001); (Van de Ven, 2001) y para el planteamiento desde el DNP, se citan autores como (Booz, Allen & Hamilton, 1982); (Choffray, 1995) y (Hernández, 2004).

Para el proceso de Innovación en el DNP se hace una presentación de cinco procesos de innovación según la perspectiva de autores como (Baxter, 1995); (Cooper, 1998); (Ulrich & Eppinger, 2000) y (Buijs, 2003)

Por último, se presentan temas para realizar con éxito el Análisis corporativo, en donde se hace énfasis en la innovación (cultura empresarial innovadora) y en la estrategia corporativa. Para dar una visión global y clara de la teoría estudiada, se presenta un mapa conceptual que lista los temas principales en la figura 1.

Nuevo producto

Para la definición, es necesario involucrar la innovación como factor esencial en el DNP en una empresa.

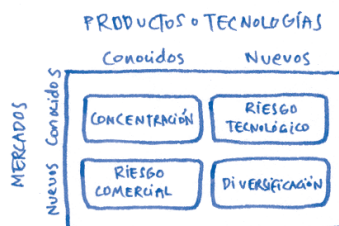
Innovación desde el punto de vista general corporativo

Muchos son los autores que definen la innovación como elemento indispensable en la organización. Según (Cooper, 1998) “La innovación se ha convertido en una guerra en la que las empresas deben pensar radicalmente en innovar o morir (...) la innovación es vital para el éxito, rentabilidad, prosperidad y supervivencia de las organizaciones”.

Así mismo, la innovación puede describirse como el grado de novedad para la empresa, éste determina de cierta manera el grado de competitividad corporativo. El grado de novedad según (Lambin, 1995) describe que cuanto más se aventura la empresa en nuevos terrenos, mayor es el riesgo estratégico. Se pueden distinguir diferentes niveles de riesgo, de acuerdo con la figura 2.

- Mercado y tecnología conocida: en donde el riesgo es doblemente limitado.
- Mercado nuevo pero tecnología conocida: el riesgo es esencialmente comercial.
- Mercado conocido pero con tecnología nueva: el riesgo es técnico.
- Mercado nuevo y tecnología nueva: los riesgos se acumulan.

Figura 2.
Grado de Novedad para la empresa



Fuente: adaptado de (Lambin, 1995)

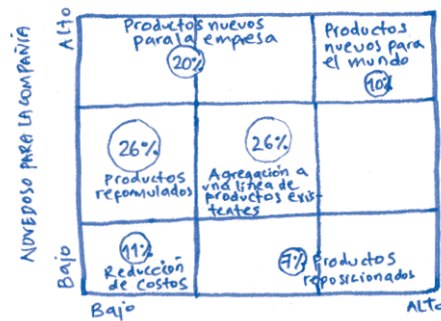
Innovación desde el punto de vista del DNP

La innovación en el contexto de DNP puede definirse por medio de ciertos temas: componentes básicos, riesgos asociados, etapas involucradas y el grado de novedad para la empresa entre otros.

Así mismo, para definir la innovación y establecer tipologías o características de la novedad, (Cooper, 1999), (Lambin, 1995) y (Tidd, 2001) citan el estudio realizado por (Booz, Allen & Hamilton, 1982) en los ochenta, un estudio sobre 700 empresas y 13.000 nuevos productos industriales y de consumo que clasifican seis posibilidades de productos nuevos de acuerdo con la figura 3.

- Productos nuevos para el mundo.
- Productos nuevos para la empresa.
- Adiciones a una línea de producto existente.
- Productos reformulados.
- Productos reposicionados.
- Reducciones de costes (innovaciones de proceso).

Figura 3.
Características de novedad de producto para la empresa



Fuente: adaptado de (Cooper, 1999)

Proceso de innovación

Según (Buijs, 2003), el éxito de una innovación depende en alto grado del proceso empleado. De esta manera, para analizar los procesos de innovación actuales, fueron seleccionados cinco modelos para la

innovación en el DNP según la perspectiva de autores como (Baxter, 1995), (Cooper, 1999), (Koen *et al.*, 2002), (Ulrich y Eppinger, 2003) y (Buijs, 2003). A partir del análisis de estos modelos, se realizó la propuesta del nuevo modelo para Iguana Design: Iguana Innova.

Análisis de la empresa

Se presentan temas para identificar los requerimientos de la compañía para el DNP de producto. Se estudian temas como la cultura empresarial innovadora y la estrategia corporativa.

Cultura empresarial innovadora

Para (Baxter, 1995), ser innovador no pasa por que sí. Una empresa llega a ser innovadora a partir de la creación de una cultura de innovación. La única manera de asegurar que el nuevo producto va a ser óptimo es desarrollando una estrategia de innovación, la cual hace claro para todos los integrantes de la compañía, qué tipo de productos se espera desarrollar.

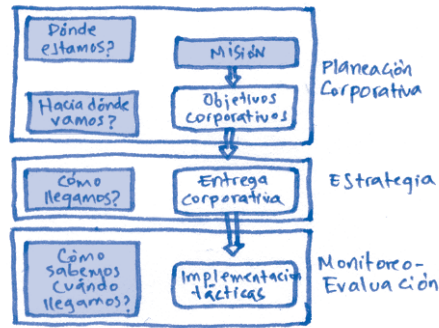
Estrategia Corporativa

Puede ser analizada según: elementos y pasos.

Elementos. Según (Baxter, 1995), el origen de la estrategia corporativa es la misión de la compañía. *La misión*, es una declaración de *la visión futura* de la cual todo pensamiento estratégico es creado y establecido. A partir de aquí, *los objetivos corporativos* son desarrollados con base en aspectos claves para la compañía. *Las estrategias corporativas* son el medio en el cual los objetivos corporativos son alcanzados.

Pasos. Para el desarrollo de la estrategia tanto corporativa como de producto, (Baxter, 1995), propone una serie de preguntas básicas, figura 4, según sea planeación corporativa, estrategia corporativa o monitoreo y evaluación.

Figura 4.
Preguntas para la planeación estratégica



Fuente: adaptado de (Baxter,1995)

Análisis de la empresa Iguana Design

Para el análisis del perfil de Iguana Design y la elaboración de las recomendaciones, se tuvieron en cuenta los temas presentados en el marco teórico y la experiencia de la práctica profesional en la empresa holandesa Anndur,⁵ en donde se realizaron actividades y proyectos direccionados hacia la innovación y DNP.

Esta sección se divide entonces en los antecedentes de la empresa y el análisis del perfil de la misma. Aquí, se identifican los factores visibles en Iguana Design según los temas principales diferenciados en el marco teórico: innovación y DNP. A partir de este análisis, figura 5, se identifican factores no encontrados y se plantean propuestas de mejoramiento, en algunos casos para ser desarrollados como trabajo futuro, y así asegurar el éxito en el DNC.

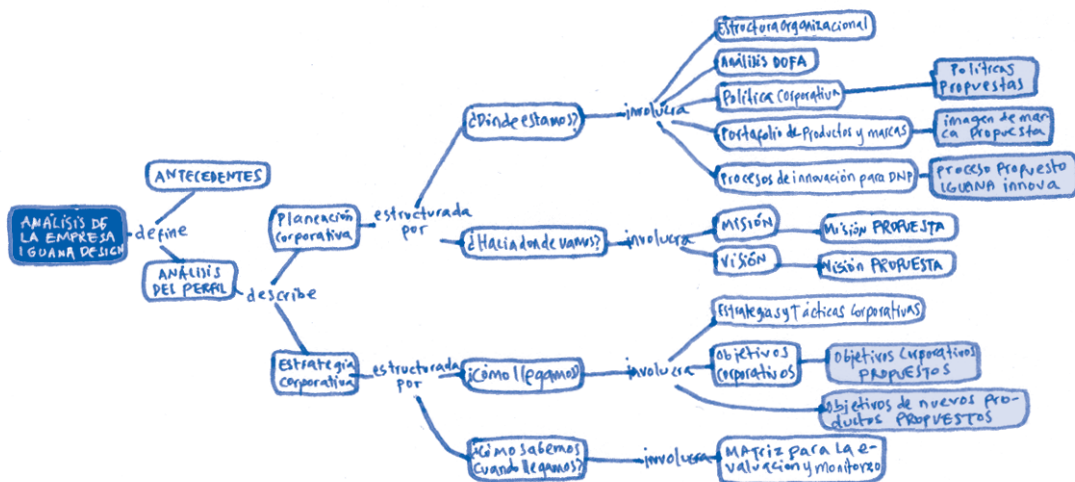
Antecedentes de Iguana Design

En las materias Proyecto 7 y 8 del séptimo y octavo semestre de Ingeniería de Diseño de Producto en la Universidad EAFIT, se desa-

5 ANNDUR -walk about gear- es una microempresa holandesa situada en la ciudad de DELFT, diseñadora de coches para transportar máximo ocho niños. La autora realizó una práctica profesional en dicha empresa extractando todo tipo de información oportuna para estructurar de una mejor manera a Iguana Design. Para más detalle véase la tesis de grado de Marcela Velásquez (2004).

rolló una idea de negocio llamada *Urban 34*,⁶ figura 6, una patineta con motor para el transporte unipersonal a cortas distancias. Este producto es el origen de la empresa *Iguana Design* (constituida por Marcela Velásquez Montoya y Esteban Aristizábal Uribe),⁷ la cual fue estructurada dentro de los objetivos de la materia Estrategia de Producto también en el octavo semestre de la carrera.

Figura 5.
Análisis de la empresa



Fuente: adaptado de (Baxter,1995)

El proyecto que se presenta en este artículo, se desarrolla después de la experiencia vivida en la Universidad Técnica Delft-Holanda y la práctica profesional en Anndur.

Análisis del perfil de Iguana Design

Según (Bruce y Bessant, 2002), “el perfil de una empresa es una descripción controlada y deliberada de la razón de ser de la organización, del ¿Quiénes somos? y del ¿Qué queremos ser?”. Se refiere

6 Información del proyecto en referencia, puede encontrarse en el cuaderno de memorias de las asignaturas Proyecto 7 y Proyecto 8 de Marcela Velásquez Montoya 2003/2.

7 Los fundadores de la empresa Iguana Design son Esteban Aristizábal Uribe (estudiante actual de Ingeniería de Diseño de Producto -octavo semestre-) y Marcela Velásquez Montoya (autora de este artículo). Para mayor información, diríjase al proyecto de tesis Marcela Velásquez 2004.

además a aquellos aspectos únicos de la identidad de la compañía que son comunicados dentro y fuera de la empresa.

Figura 6.
Urban 34



Autor: Marcela Velásquez

Para el caso de Iguana Design, se realizó un análisis autocrítico basado en dos temas principales: la planeación y la estrategia corporativa. A continuación se describen las propuestas de mejoramiento a la estructura de la misma mostrada en la figura 5.

Planeación Corporativa

Para la Planeación Corporativa se utilizó la metodología descrita en el marco teórico, propuesta por (Baxter, 1995), en donde se pretende resolver dos preguntas básicas: ¿Dónde estamos? ¿Hacia dónde vamos?

¿Dónde estamos?

Se propone política, imagen de marca y proceso de innovación hacia el DNP según el marco teórico y experiencias personales.

Políticas corporativas – desde lo corporativo

- **Aptitud y actitud innovadora:** el corazón de una empresa innovadora es el liderazgo, cultura, emoción, motivación, toma de riesgo y pasión de la gente: “Innovación tiene que ver con lo humano, es un negocio de la gente” (Buijs, 2003).

- **Equipos multidisciplinarios de trabajo:** se crea una estructura basada en el conocimiento compartido de manera que se puede coordinar el desarrollo de un producto basado en habilidades particulares de sus integrantes.

Políticas corporativas – desde el DNP

- **Departamento de innovación:** la innovación no es un elemento explícito dentro de Iguana Design, y no existe un departamento de ésta como tal en la estructura organizacional. El departamento debe ser responsable del desarrollo y crecimiento de la innovación dentro de la empresa como proceso constante.
- **Ideas y procesos argumentados:** no existe una justificación explícita de la metodología empleada para el DNP en Iguana Design. Los empleados de Iguana Design deben caracterizarse por desarrollar proyectos donde se argumentan puntos clave como ideas y conceptos, además de las detalladas especificaciones de diseño (PDS).

Imagen de marca

- **Marca endosada:** hasta el momento, los nombres de marca que se manejan en la empresa son Iguana Design y Urban34. En el producto Urban34 no es muy visible la marca. La organización debe usar su marca para endosar submarcas a sus productos.

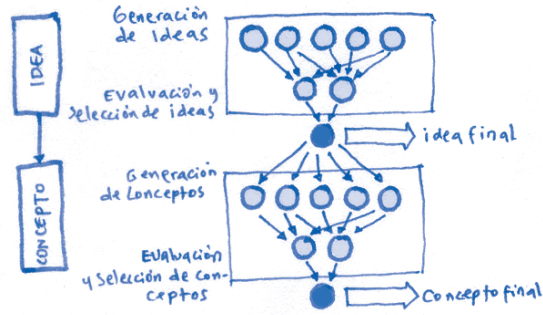
Proceso de innovación en el DNP

- **Iguana Innova:** como se explicó anteriormente, se realizó una comparación de cada modelo seleccionado en el marco teórico: (Baxter, 1995), (Cooper, 1999), (PDMA, 2002), (Ulrich y Eppinger, 2003) y (Buijs,2003) con el fin de generar un modelo para el DNP implementado a Iguana Design llamado: Iguana Innova. En este modelo, se proponen las mismas siete etapas básicas que se manejan en el modelo antiguo de la empresa, pero se estructuran mejor las primeras cuatro etapas que conforman el primer paso en el *Fuzzy Front End* (FFE), parte importante de este proyecto.

Cada etapa consta de varias actividades, figura 7, las cuales deben completarse para poder seguir a la fase siguiente. Las primeras cuatro

etapas de color gris, son las que se desarrollan en este proyecto. Las restantes, son propuestas como trabajo futuro.

Figura 7.
Idea – Concepto en Iguana Design



Autor: Marcela Velásquez

Un punto importante a tener en cuenta es la diferencia entre Idea y Concepto. Las ideas son las generadoras de conceptos que posteriormente serán seleccionados para resultar sólo un concepto final, figura 8, objetivo principal de este proyecto.

¿Hacia dónde vamos?

Se define la razón de ser del negocio, la misión y la visión. En este caso, la base del negocio es el transporte a corta distancia, enfocándose en proyectos en los sectores que involucren el “Transporte” como función principal para el DNP en la Empresa.

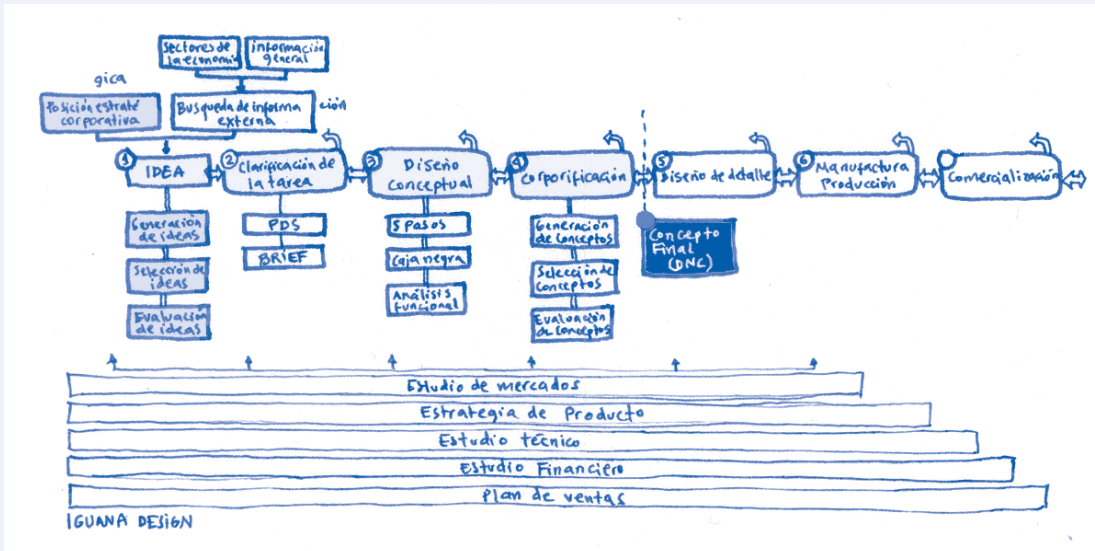
Estrategia Corporativa

Del mismo modo, para el análisis de la estrategia corporativa se utiliza la misma metodología basada en preguntas, pero se pretende resolver dos interrogaciones diferentes: ¿Cómo llegamos? y ¿cómo sabemos cuándo llegamos?

¿Cómo llegamos?

La forma de saber cómo se puede cumplir un objetivo o una meta en una empresa es por medio de los Objetivos Corporativos y de Producto.

Figura 8.
Modelo para la innovación en el DNP: Iguana Innova



Autor: Autor: Marcela Velásquez

Objetivos Corporativos

- Desarrollar e implementar actividades para la creación de una cultura de innovación.
- Incentivar y apoyar dentro de la empresa, el desarrollo de proyectos integrales que involucren el desarrollo sostenible como herramienta básica y el enfoque al cliente como punto principal en las limitaciones de diseño de producto.

Objetivos de Nuevos Productos

(Cooper, 1998) afirma que los nuevos productos son la llave para la prosperidad de la compañía. Para Iguana Design, una política corporativa importante es el deseo de introducir al mercado al menos un producto al año.

¿Cómo sabemos cuándo llegamos?

Se define una matriz para la gerencia del diseño, para el monitoreo de las áreas y la evaluación permanente de resultados-retroalimentación.

Diseño de un nuevo concepto de producto

Esta sección es la más extensa en la elaboración del proyecto pues es aquí donde se describe todo el proceso de innovación del nuevo concepto para el sector Agroindustrial y de Transporte para Iguana Design (objetivo principal del proyecto).

Cada vez es más evidente la importancia de prestar toda la atención a las actividades de las primeras etapas del proceso de innovación o FFE que precede a la fase del proceso formal y estructurado del DNP y la comercialización; y así aumentar el valor, la cantidad y probabilidad de obtener grandes beneficios financieros con el nuevo producto.

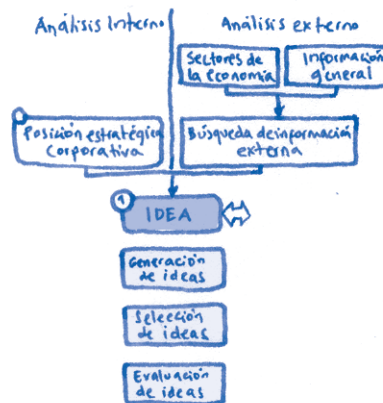
Siguiendo el modelo de innovación *Iguana Innova* propuesto en la sección anterior, se desarrollan las primeras cuatro etapas: idea de negocio, clarificación de la tarea, diseño conceptual y corporificación hasta la selección del nuevo concepto de producto.

Etapa 1: Idea

Se divide en varias sub-etapas, figura 9, dependiendo de un análisis interno y externo de la empresa.

Figura 9.

Etapa 1: Idea del modelo para la innovación en el DNP: Iguana Innova



Análisis externo

En el análisis de Iguana Design se enfoca en las posibles oportunidades para el DNP de Iguana Design en el contexto nacional. Se analizan sectores holandeses pero como punto de referencia y no como base para generación de ideas.

De los diferentes contextos observados dentro de los sectores objetivo nacionales, se seleccionaron específicamente tres contextos para darle un enfoque a la investigación: lechero, floricultor y frutícola.

En general, el análisis se desarrolla teniendo en cuenta la relación directa que existe entre los dos sectores. Es decir, según el Dr. M. Dekker de la Universidad Erasmus de Rotterdam,⁸ el transporte ha sido un gatillo para el desarrollo del sector de la agricultura desde los inicios del hombre, y gracias a las necesidades que surgen dentro de las actividades cotidianas del sector agrícola, el sector de transporte evoluciona, y viceversa.

Las conclusiones más relevantes del sector holandés son listadas a continuación:

- *Diseñar maquinaria y productos especializados en actividades determinadas:* “La mejor manera de aumentar rentabilidad de las granjas holandesas fue aumentando la producción de sus granjas por medio del incremento de la efectividad y productividad del trabajo (...) se diseñaron máquinas para diferentes actividades agrarias y diferentes artefactos para facilitar el transporte de la cosecha a su lugar final” (Agrotecnología @).
- *El gobierno apoya directamente el desarrollo de los sectores. Así mismo, se deben involucrar más las universidades y las instituciones académicas al desarrollo de proyectos de investigación que influyeran al mejoramiento de los sectores y la economía en general:* “(...) la inversión anual del gobierno holandés en el sector agroindustrial aumentó cada año en el periodo 2000 – 2003, aproximadamente un 2.5% del año anterior (...) Los institutos de investigación y los

8 Entrevista realizada al Doctor M. Dekker de la Universidad Erasmus de Rotterdam (Medio Ambiente) sobre el desarrollo y evolución de los sistemas de transporte dentro del contexto agrícola.

fabricantes están constantemente desarrollando nuevas máquinas y sistemas para conseguir que el sector agrícola sea menos contaminante, más eficaz y más rentable(...)" (Agrotecnología @).

- *Una manera de innovar es usando la tecnología como factor definitivo en la toma de decisiones y así mismo en la evolución exitosa de ambos sectores: "...el granjero en Holanda (como en otros países de Europa), no es un trabajador de obra pesada, es ahora un Director que administra su negocio utilizando los sistemas de información..."* (Agrotecnología @).

Después de analizar la información sobre los tres sectores objetivos en Colombia y teniendo como punto referencial la información y análisis del sector holandés, se pueden enumerar algunos puntos clave para resumir la situación sectorial nacional. Esta información refuerza el DNC disminuyendo en cierto grado la incertidumbre:

- Actualmente el desconocimiento de los mercados nacionales e internacionales es uno de los puntos más críticos para la competitividad de los empresarios. Se debe reconocer la información, como una herramienta de invaluable utilidad, como orientadora de las decisiones en un negocio.
- Respecto al tema de actualidad, TLC y otros tratados, se puede decir que es indudable que la competitividad del *sector agrícola*, especialmente en los mercados desarrollados, estará estrechamente ligada a la viabilidad de integrar, expandir o consolidar las cadenas productivas construyendo una logística apoyada en el *sector de transporte* para el manejo exitoso de todas las actividades agrícolas (El Colombiano, 2004).
- Es necesario que empresas con visión social responsable dirijan sus esfuerzos a la zona rural, en la consolidación de las economías regionales, en la generación de empleo, en *el desarrollo de nuevos medios de transporte para transportar mercancía internamente en la zona rural y hacia el exterior*, en el desarrollo de infraestructura física como nuevas carreteras y vías. (Minagricultura, @)
- El mercado agroindustrial mundial (como es el caso del sector holandés analizado en puntos anteriores), en el cual Colombia ha

empezado y seguirá compitiendo, tiene exigencias especiales y mucha experiencia en actividades como almacenamiento, transporte y empaque. Se debe generar una cultura de investigación continua para el mejoramiento de procesos, maquinaria y productos que generen una mayor productividad para dicho sector (CORPOICA @).

- Entre los contextos productivos de la economía colombiana en los sectores agrícol y de transporte, se pueden resaltar tres en especial: lechero, floricultor y frutícola, por a su alto grado de influencia y variedad de oportunidades de negocio.
- No es imposible pensar en máquinas, equipos y sistemas para hacer más eficiente el sector agrario, siempre y cuando su diseño y utilización cuente con la adecuada transferencia de tecnología a operarios.

Análisis Interno

Por otro lado, para el análisis interno de la empresa, se retoma la posición estratégica corporativa detallada en la sección anterior. De esta información, se resaltan tres factores importantes:

- La base del negocio de la empresa es el transporte y su contexto.
- Iguana Design está orientada a una cultura corporativa innovadora en donde se hace diferencia en el grado de novedad del producto según la clasificación que hace (Lambin, 1995) – descrito en el marco teórico.
- Enfocar el proceso de innovación a puntos clave como: calidad, centralización, orientación al mercado, equipo multifuncional, entre otros factores. (Cooper,1998).

Generación de Ideas

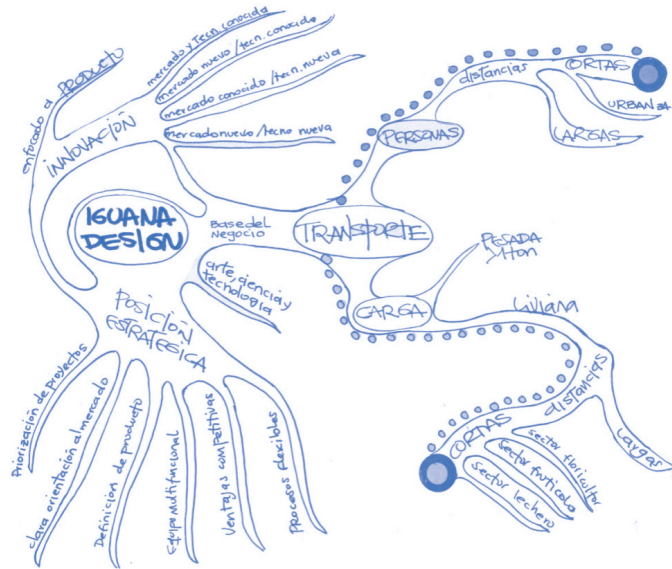
A continuación, se muestra un Mind Map,⁹ figura 10, para tener una visualización general del problema. Se pueden ver dos rutas, la ruta

⁹ Mind Maps o “mapas mentales” es una forma práctica de organizar toda la información que se va a utilizar en un determinado proyecto para que el diseñador tenga una visión global del problema y sus factores claves.

de color azul es la que Iguana Design ha seguido: el transporte de personas a distancias cortas, y la ruta verde, es la ruta en la que este proyecto se enfoca: el transporte a distancias cortas para una persona y para carga definida como carga liviana.

Se generan ideas para nuevos productos de Iguana Design, para el transporte de carga considerada como muy liviana¹⁰ y liviana¹¹. En la Idea 1, figura 11, se presentan algunas propuestas desarrolladas para el transporte de carga muy liviana a cortas distancias, para diferentes usos.

Figura 10.
Mind Map. Visión global del problema



Autor: Marcela Velásquez

Algunas situaciones para las que se propone la Idea 1 se dividen en los tres sectores objetivos como se muestra en la Figura 12.

¹⁰ Carga muy liviana: 0 a 100 Kg. aproximadamente.

¹¹ Carga liviana de 0 a 700 Kg. aproximadamente.

Figura 11.
Idea 1 - Propuestas

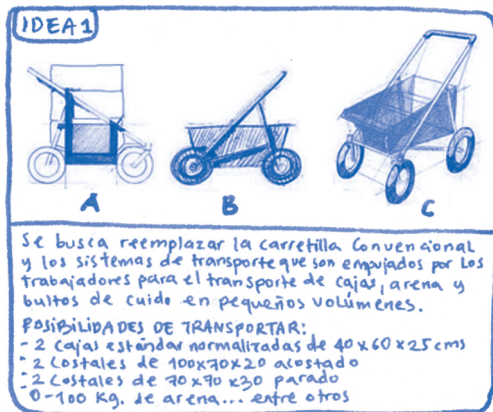


Figura 12.
Idea 1 – Situaciones y Elementos Estándar

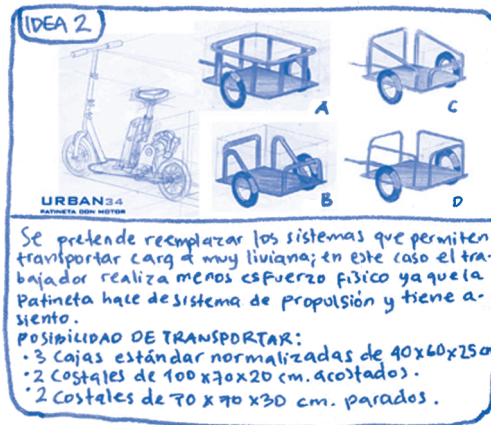


Autor: Marcela Velásquez

En la Idea 2, figura 13, se proponen diferentes remolques para ser halados por la patineta con motor Urban 34 (actual producto de Iguana Design), y así evitar las lesiones físicas que causa exceder el límite de carga permitido por persona.¹²

Al producto se le incrementaría la potencia del motor y se le reemplazarían algunas piezas como las llantas y elementos de transmisión para que cumpla con la nueva aplicación. Las situaciones para las que se propone la Idea 2 se muestran en la figura 14.

Figura 13.
Idea 2 - Propuestas



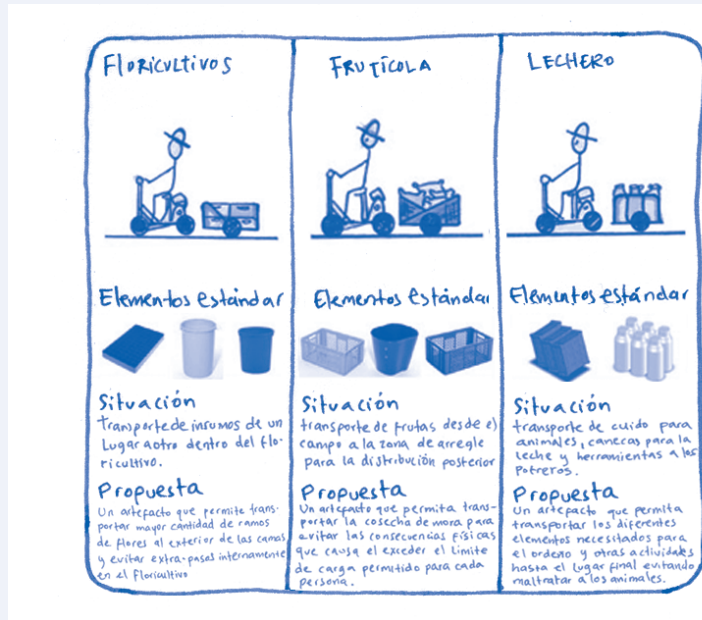
Autor: Marcela Velásquez

En la figura 15, - Idea 3 - se presentan ideas para el transporte de carga liviana en donde es posible transportar mayor número de elementos, volumen y peso. El trabajador debe montar la carga en la cavidad frontal y guiar el vehículo donde sea necesario.

En este caso, el mismo producto puede ser utilizado con otros accesorios para el uso de los tres sectores, figura 16, pues cada uno de éstos tiene diferentes necesidades, elementos estándares (protegen la carga al ser transportada), volumen y peso a ser transportado.

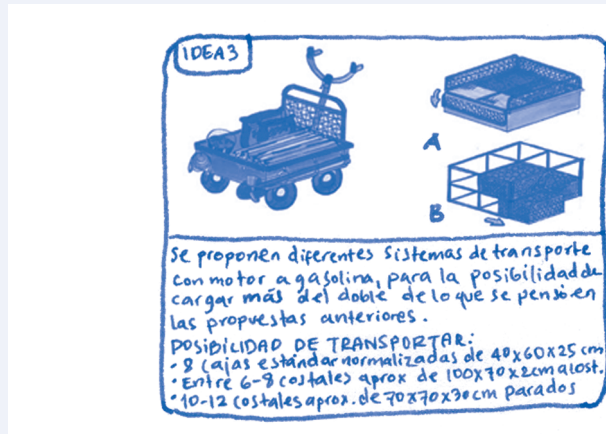
¹² Dentro de las reglas de seguridad de la Salud Ocupacional, está la cuota máxima recomendada para evitar lesiones por exceso de carga. Esta cuota mínima de carga es de 30 Kg por persona.

Figura 14.
Idea 2 – Situaciones y Elementos Estándar



Autor: Marcela Velásquez

Figura 15.
Idea 3 - Propuestas



Autor: Marcela Velásquez

De esta forma, la Idea 3, figura 16, da origen a la Idea 4 en la figura 17. Las situaciones para las que se propone la Idea 4, figura 18, pueden

resumir algunas ya descritas anteriormente y otras que se dividen en los tres sectores: floricultivos, frutícola y lechero.

Figura 16.
Idea 3 – Situaciones y elementos estándar



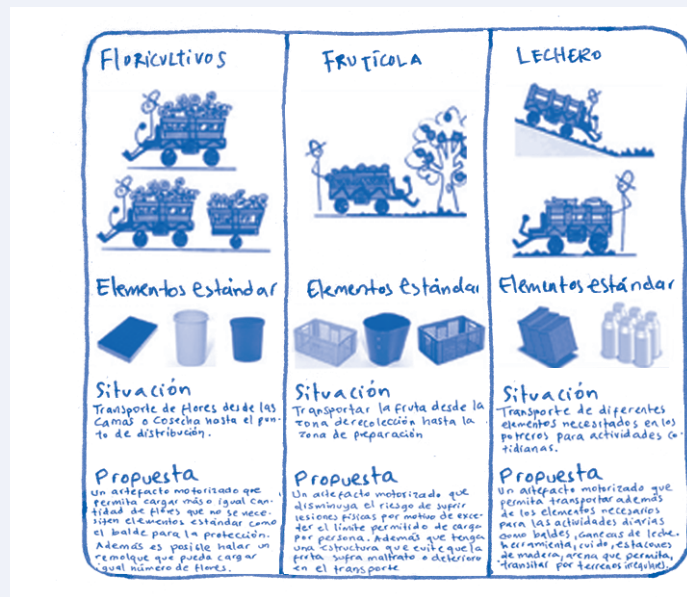
Autor: Marcela Velásquez

Figura 17.
Idea 4 - Propuestas



Autor: Marcela Velásquez

Figura 18.
Idea 4– Situaciones y elementos estándar



Autor: Marcela Velásquez

Evaluación y selección de ideas

Según (Koel *et al.*, 2002), la selección de las alternativas de ideas para el DNP es indispensable para llegar al mayor grado de bienestar y beneficio financiero futuro de la empresa. Sin embargo, no existe un proceso específico que pueda señalar una idea con certeza basada en la innovación, para esto es necesario recurrir a la influencia de factores como el liderazgo, la cultura y la estrategia corporativa entre otros.

Generalmente, en una empresa no existe un proceso formal para la selección de ideas de nuevos productos, debido a la poca información que se tiene disponible en las primeras etapas del proceso o FFE (Koel *et al.*, 2002). El proceso de selección de conceptos de producto en Iguana Design se realiza por medio de evaluación cualitativa y cuantitativa. En este caso, la selección de Ideas se realizó por medio de esta misma metodología (cualitativa – cuantitativa), teniendo en cuenta deseos y demandas de los usuarios y de la empresa en particular, y una evaluación según criterio personal de la autora.

Se seleccionaron diez variables para evaluar las propuestas de ideas a partir de la investigación realizada, teniendo en cuenta los deseos y demandas tanto de usuarios como de Iguana Design:

1. El producto está enfocado a las necesidades del consumidor.
2. Grado de novedad para la empresa en términos de si es atractivo para la empresa según ciertos factores:
 - M¹³ y T¹⁴ conocida
 - M nuevo - T conocida
 - M conocido – T nueva
 - M y T nuevo
 - Capacidad de carga útil.
 - Protección y seguridad de la carga transportada
 - Estabilidad del producto
 - Eficiencia: disminución de tiempo y pasos en el ciclo general.
 - Comodidad del usuario.
 - Facilidad de uso.
 - Apariencia.
 - Adaptabilidad a las condiciones del entorno. Flexibilidad a diferentes elementos estándar utilizados.

A cada variable se le asigna un peso para luego ser calificado. Después de realizar esta evaluación, se llegó a la conclusión de que la Idea 4, figura 17, es la que mejor satisface los requerimientos y se adapta a los criterios establecidos para la evaluación. Así mismo, la Idea 4 resultó elegida según la evaluación de ventajas y desventajas bajo

13 Abreviación para Mercado

14 Abreviación para Tecnología

el criterio personal de la autora. A partir de esta idea seleccionada se empieza la etapa del DNC para Iguana Design.

Etapa 2: clarificación de la tarea

En este punto se desarrollan algunos elementos del BRIEF del producto y se describe el PDS, de acuerdo con la figura 19, a partir de la idea final para el DNP seleccionada en el punto anterior.

Figura 19.
Etapa 2 del modelo Iguana Innova



Autor: Marcela Velásquez

Brief del proyecto¹⁵

Desarrollar un nuevo concepto de producto para el sector de transporte y agroindustrial en la empresa Iguana Design. Este concepto debe ser un sistema para el transporte de carga liviana para distancias cortas el cual sea flexible al uso de diferentes elementos estándar que se utilizan para proteger la carga transportada en las actividades diarias dentro de los contextos floricultor, frutícola y lechero. Así mismo, este sistema debe ser adaptable a entornos, terrenos y situaciones que varían según los sectores objetivos.

PDS – Especificaciones de Diseño de Producto

Se tomaron elementos de los 32 propuestos por (Pugh, 1991) como PDS. Los principales fueron: desempeño, calidad y confiabilidad,

15 Se define carga útil entre 0 y 700 Kg. Se define distancia corta a trayectos entre 0 y 3 kilómetros. Los elementos estándar varían según el contexto y la actividad realizada. La carga transportada varía según el contexto. No se definen todas las posibles situaciones de uso en los tres sectores del producto por su infinidad, pero se proponen ciertas situaciones en donde se satisfacen necesidades de los usuarios.

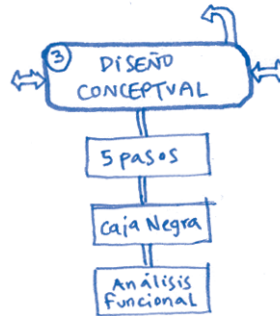
ciclo de vida, mantenimiento, costo, manufactura, tamaño y peso, seguridad, apariencia, usuario y ergonomía.

Los resultados de la investigación en los sectores objetivo se clasifican según sean deseos o demandas de los usuarios. Éstos, a su vez, se traducen en limitaciones de diseño e Ingeniería para la generación de conceptos.

Etapa 3: Diseño conceptual

En este punto se presenta el análisis conceptual, figura 20, según la función principal, la caja negra y el análisis funcional del producto como etapa previa de la corporificación.

Figura 20.
Etapa 3 del modelo Iguana Innova



Autor: Marcela Velásquez

Función principal

La función principal, figura 21, es transportar a una persona y a una cantidad de carga determinada.

Figura 21.
Función principal

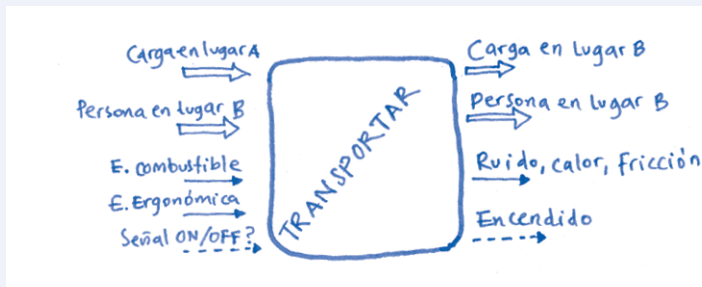


Autor: Marcela Velásquez

Caja negra

La caja negra, figura 22, muestra los flujos de entrada y de salida de acuerdo con la función principal enunciada.

Figura 22.
Caja negra

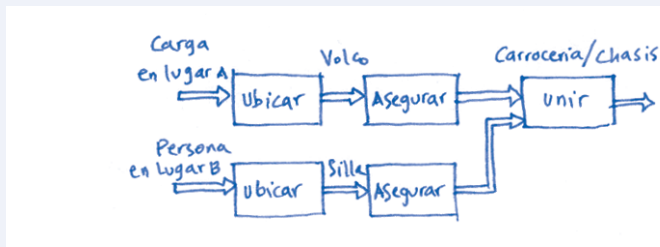


Autor: Marcela Velásquez

Análisis Funcional

Con la información anterior se realiza un análisis funcional en donde se utilizan verbos para señalar las acciones pertinentes. En la figura 23, se presenta una parte del análisis funcional realizado.

Figura 23.
Estructura funcional



Autor: Marcela Velásquez

Diagrama morfológico

Se realiza para limitar y facilitar la generación de ideas para el DNP. En un diagrama se presentan diferentes alternativas para los parámetros establecidos en el análisis funcional. Es posible determinar, según esto, diferentes rutas o direccionamientos para generar ideas de

nuevos conceptos. Para seleccionar sólo una ruta a seguir, cada parámetro es evaluado individualmente según criterio de la autora.

En la tabla 1 se presenta el diagrama morfológico realizado y la ruta con mayor calificación resaltada en anaranjado.

Es claro entonces que los conceptos a ser diseñados deben cumplir con los requerimientos señalados en anaranjado en la tabla anterior.

Tabla 1.
Diagrama morfológico: ruta escogida para el DCN

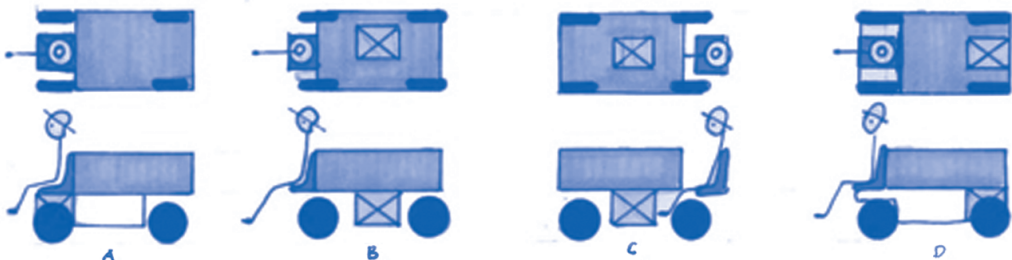
PARAMETRO	MEDIOS				
Energía	Solar	gasolina	ACPM	Gas Natural	
Transmisión	Engranajes	Bandas	Cadenas	Hidráulica	Cable
Dirección	Tornillo sin fin	Aire	hidráulica	Mecanismo de barras	Ruedas de giro
Frenado	Campana	Disco			
llantas	Lisa	Trochera	Multiprop.	Pantáfila	
chasis	Monocasco	De barras			
Suspensión	Bombonas	Ballesta	McPherson	Por resorte y amortiguador	
Carozería	Deportivo	De lona	Fibra (rígida)	Espuma Metálica	
cabinado de mando	Adelante	Atrás	Centrada	Descentrada	Afuera

Autor: Marcela Velásquez

Posibilidades técnicas y formales

En la figura 24 se determina la ubicación óptima de la carga (azul), de la cabina de mando (rojo) y del motor (verde) según el PDS realizado anteriormente, se selecciona la alternativa B pues es la que mejor cumple las especificaciones de diseño según el criterio de la autora.

Figura 24.
Ubicación de la carga, cabina de mando y motor

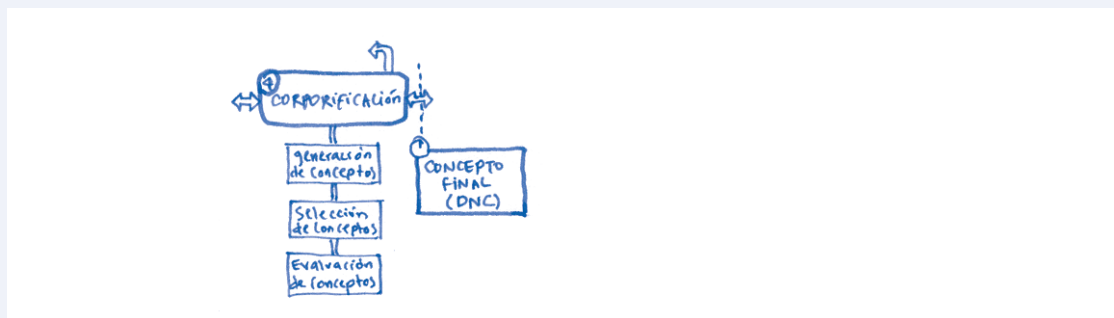


Autor: Marcela Velásquez

Etapa 4: corporificación

La corporificación, figura 25, es una etapa en donde todos los factores que fueron analizados anteriormente influyen de alguna manera para el DNC.

Figura 25.
Etapa 4 del modelo Iguana Innova



Autor: Marcela Velásquez

Generación de conceptos

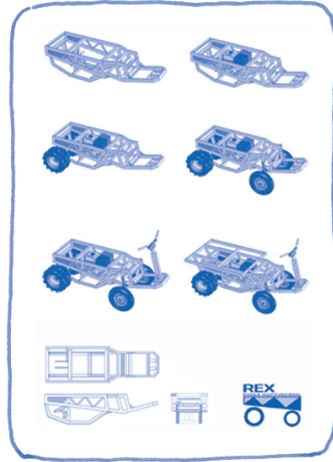
A partir de la ruta morfológica establecida (recuadros sombreados en la tabla 1 y el PDS del producto, se generan diferentes ideas de conceptos. En este caso se generan dos conceptos principales descritos a continuación.

En la figura 26 se presenta a REX¹⁶ chasis multifuncional, diseñado como elemento patrón para la generación de los dos conceptos propuestos. La idea es que REX sea la base (chasis) del producto. Se visualiza el chasis con los diferentes componentes básicos: Chasis+motor+ensamble llantas trasero, ensamble llantas delantero, ensamble delantero de manubrio+ensamble placa para carga.

En la figura 27 se presenta el Concepto 1 para el DNP. Se describen diferentes situaciones en las cuales el producto puede ser desempeñarse en los sectores floricultor, lechero y frutícola.

¹⁶ Este proyecto se desarrolla en paralelo con Esteban Aristizabal Uribe y estudiantes de la asignatura Proyecto 8 de Ingeniería de Diseño de Producto de la Universidad EAFIT: Lisa Restrepo, Luisa Fernanda Gómez y Manuela Villa.

Figura 26.
 REX: chasis multifuncional



Autor: Marcela Velásquez

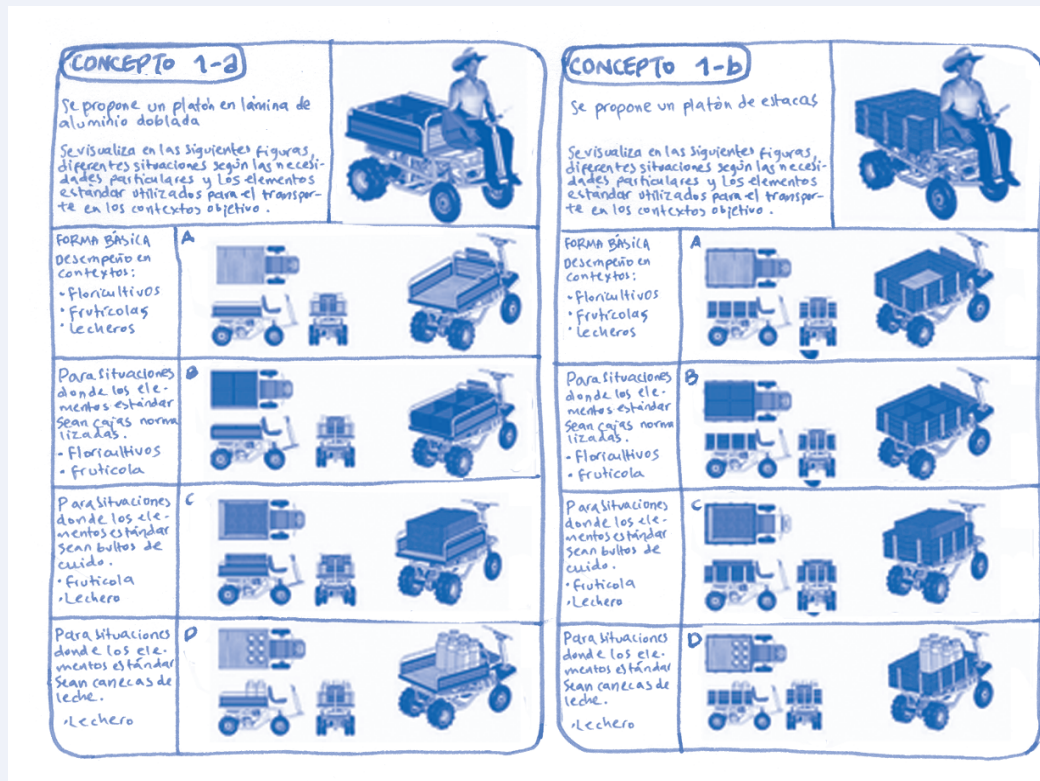
En la figura 28 se presenta el Concepto 2 para el DNP. Se describen diferentes propuestas según sea Platón metálico o Estaca. La diferencia con el Concepto 1, es que se diseña un remolque con las mismas características del REX.

Evaluación y selección de conceptos

La metodología que se utilizó en el proceso de selección de conceptos es la misma que se utilizó para la selección de ideas en numerales anteriores. Después de realizar dicha evaluación, el puntaje más alto fue el del Concepto 2, figura 28, pues es la que mejor satisface los requerimientos y la que mejor se adapta a los límites establecidos en la evaluación.

A partir de este concepto seleccionado se debe empezar la etapa de Detalle del Concepto que no se considera en este proyecto, pero fue propuesta como trabajo futuro de Iguana Design.

Figura 27.
Concepto 1. A-Platón aluminio y B-Platón estacas. 3



Autor: Marcela Velásquez¹⁷

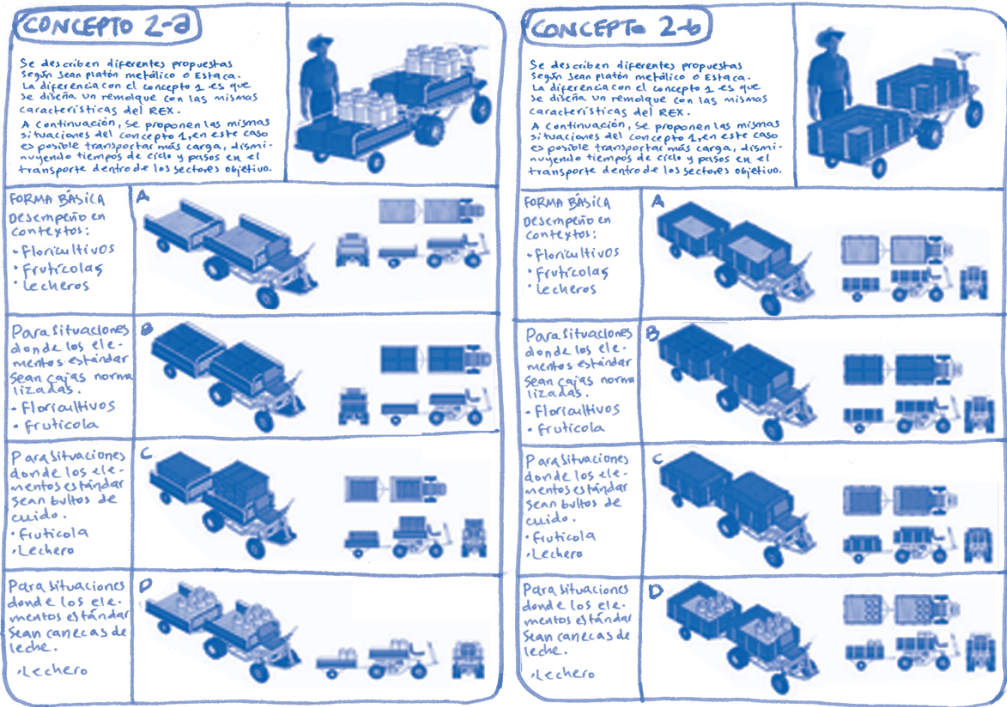
Conclusiones

Innovación y DNP

Los resultados de la investigación han demostrado que la innovación es vital para el éxito, rentabilidad, prosperidad y supervivencia de las organizaciones cuando se permite que la innovación sea un elemento permeado en toda la estructura corporativa. Se demuestra además, que el éxito en el DNP depende directamente de la inclusión de dos factores fundamentales: la orientación del mercado y la definición de las especificaciones de diseño de producto.

¹⁷ Modelación junto con Esteban Aristizábal Uribe

Figura 28.
Concepto 2. A-Platón aluminio con trailer y B-Platón estacas con trailer.



Autor: Marcela Velásquez

Fuzzy Front End (FFE)

Según la investigación realizada, es evidente que la etapa del FFE es experimental y normalmente caótica. Sin embargo, es posible disminuir la ambigüedad en estas primeras etapas por medio de herramientas y metodologías aplicadas al proceso de DNP. Es así como se demuestra en la investigación llevada a cabo que existen posibilidades exitosas para el desarrollo de productos innovadores y comparando esto con la literatura revisada, permite afirmar que el FFE es una de las grandes oportunidades para la disminución de riesgo y el mejoramiento general del proceso de innovación de una empresa.

Nuevo concepto de producto

Se encuentra que es mejor realizar un proceso de generación, selección y evaluación de Ideas antes que de conceptos ya que en esta etapa influyen factores importantes como la posición estratégica de la compañía y la búsqueda de información externa en los sectores de la economía. Por otro lado, según la investigación que se llevó a cabo, existen varias oportunidades potenciales para el desarrollo de nuevos conceptos para empresas como Iguana Design. Es evidente la posibilidad de mejorar la efectividad de los sistemas de transporte de carga a cortas distancias que se utilizan en contextos como floricultivos, frutícola y lechero.

Situación actual de los sectores

La investigación llevada a cabo en los sectores de transporte y agrícola, muestra que el transporte ha reducido el tiempo y el espacio pues ha hecho posible la expansión comercial, nuevos usos de los recursos nacionales, diversidad de mercados, mejor distribución de bienes, disminución de tiempos en las cosechas, mayor empleo y un nivel de vida más elevado. Además, en este estudio se demuestra la importancia de la realización de una investigación detallada y un diagnóstico previo del contexto específico en el que se desempeña una empresa como parte del proceso de DNP.

Recomendaciones y trabajo futuro

Para aumentar el valor, la cantidad y probabilidad de obtener grandes beneficios financieros, Iguana Design debe prestar mucha atención a las primeras etapas del proceso de innovación, ya que como etapas iniciales o FFE puede asegurar el éxito rotundo del producto.

En este proyecto se llevaron a cabo las primeras cuatro etapas del proceso de innovación Iguana Innova, se recomienda a Iguana Design que como trabajo futuro, a partir de los resultados de este proyecto realice las etapas siguientes a la clarificación del concepto: Diseño de detalle, manufactura – producción y comercialización.

Reflexiones personales

Es necesario que el estudiante de pregrado se haga consciente de la importancia que tiene el convertirse en líder, gestor y participe de equipos de investigación y desarrollo (I+D). Este entrenamiento le permitirá tener en sus productos agentes diferenciadores, exclusividad, y garantizará una supervivencia superior en un medio siempre cambiante.

Bibliografía

Baxter, M., *Product design: A practical guide to systematic methods of new product development*, Kingdom, Stanley Thornes, 1995, 308 p., ISBN 0 7487 4197 6

Booz, Allen y Hamilton, *New Products Management for the 1980s*, New York, Booz Allen Hamilton, 1982.

Bruce, M. y J. Bessant, *Design in Business: strategic innovation through design*. Harlow, Prentice hall, 2002, 287p., ISBN 0-273-64374-6

Buijs, J., "Modelling Product Innovation Processes, from linear logic to circular chaos", *Creativity and Innovation Management*, vol. 12, núm. 2, junio del 2003.

Cooper, R., *Product leadership: creating and launching superior new products*, Estados Unidos de America, Perseus Books, 1998.

Choffray J.M y F. Dorey, *Développement et gestion des produits nouveaux*, París, McGraw-Hill, 1983, p. 9 citado por Lambin, Jean-Jaques, *Marketing Estratégico*, Madrid: McGrawHill/Interamericana de España, S. A., 1995, p. 364.

"Economía y Negocios: modelo económico muestra beneficios del TLC con E.U. MHF", *El Colombiano*, Medellín, miércoles 8 de septiembre del 2004, c. 1-2

Hernández, María Cristina, "Diseño estratégico", *Innovación y estrategias de diseño para el desarrollo de nuevos productos*, (3.a: 2004: Medellín). *Memorias del seminario de innovación y estrategias de diseño para el desarrollo de nuevos productos*. Medellín -Universidad EAFIT: Centro de Educación Continua, 2004.

Koen, P. et al., "Fuzzy Front End: Effective Methods, tools, and techniques", *The PDMA toolbook for new product development*, Nueva York, Wiley, 2002, 472p., ISBN 0 471 20611 3

Lambin, Jean-Jaques, *Marketing estratégico*, Madrid, McGrawHill/ Interamericana de España, S. A., 1995.

Pugh, S., *Total Design: Integrated methods for successful product engineering*, Harlow (UK), Addison-Wesley Publishing Company, 1991.

Tidd, J., "Innovation Management in context: environment, organization and performance", *International Journal of Management Reviews* vol. 3, núm. 3, septiembre del 2001.

Ulrich, K y S. Eppinger, *Product Design and Development*, 2.ª ed., Boston, Irwin/Mcgraw-Hill, 2000.

Van de Ven, Andrew et al., *El viaje de la innovación*, México, Oxford, 2001, p. 522., ISBN 970-613-578-2

Referencias de Internet

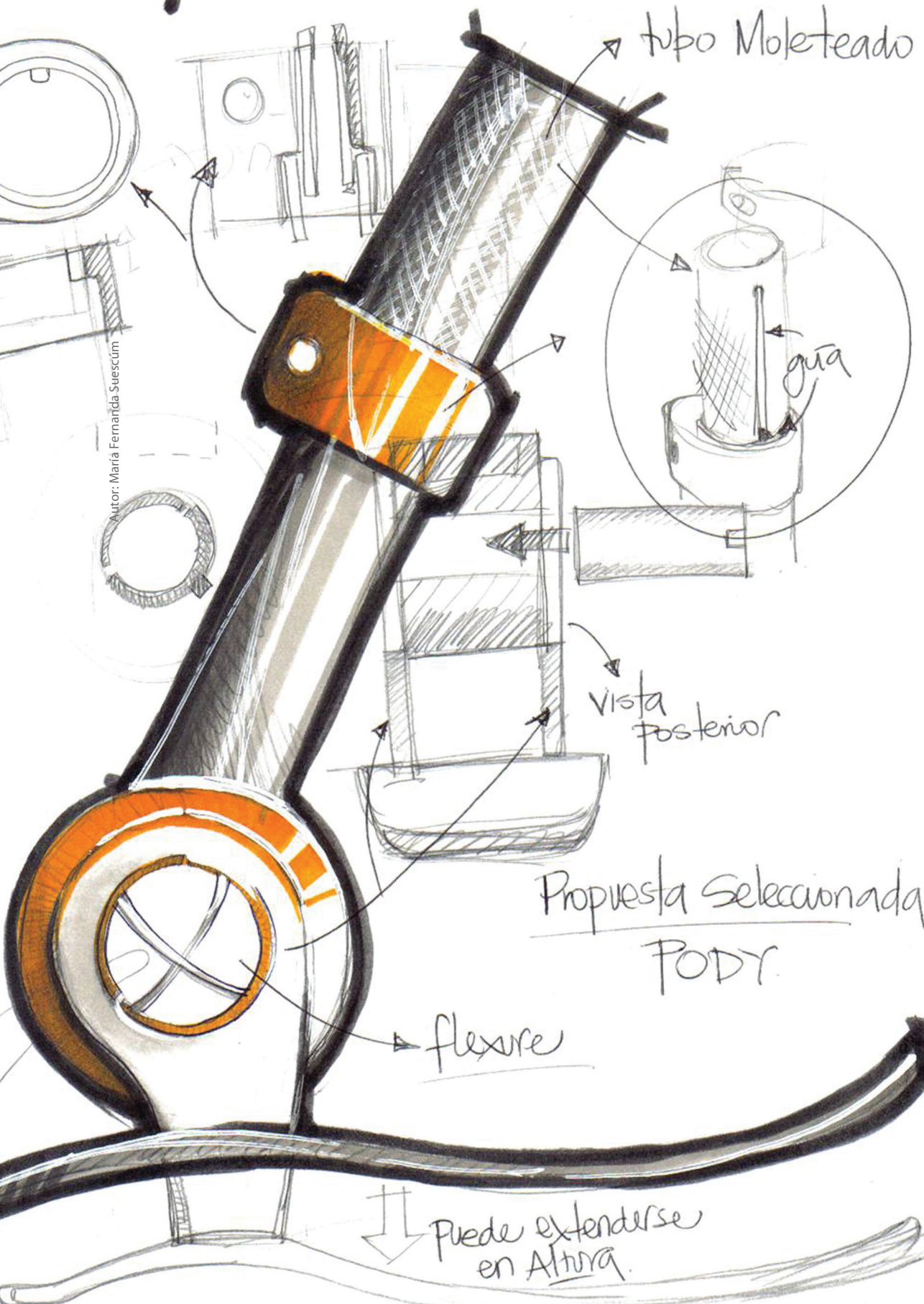
Agrotecnología, "La legislación y los costes de la mano", Sitio web: *Holland Trade*, disponible en: http://www.hollandtrade.com/por/Sectores/ShowBouwsteen_agro.asp?bstnum=362ht [May 17, 2004]

Corpoica, "Capacitación a pequeños productores agroindustriales y a técnicos del oriente antioqueño en prácticas de manejo y sistemas de aseguramiento de la calidad, en la producción de

cuatro hortalizas”, abril 1 del 2003, disponible en <http://www.corpoica.org.co/> [Ago 10, 2004]

Ministerio de agricultura, disponible en: <http://www.minagricultura.gov.co/> [Ago 9, 2004]

Minagricultura propone fondo para la reconversión del campo, Sitio web Ministerio de Agricultura de Colombia, disponible en <http://www.minagricultura.gov.co/>. [Ago 10, 2004]



Autor: María Fernanda Suescúñ

tipo Moleteado

vista posterior

Propuesta Seleccionada
PODY

flexure

Puede extenderse en Altura

guía

GESTIÓN PARA LA DEFINICIÓN Y PUESTA EN MARCHA

de una empresa prestadora de servicios de diseño¹

Catalina Hoyos Duque

Asesora: María Cristina Hernández Monsalve

Introducción

Atravesamos una etapa compleja de la historia marcada por la globalización; la competencia y el libre mercado son los que dictan hoy las reglas de funcionamiento de nuestro sistema; ningún país se escapa de su influencia, ninguna organización puede funcionar fuera de su contexto, y ningún sector de actividades es extraño a ella. La globalización supone cambios y evoluciones que obligan a las empresas a conocer, analizar y diseñar una estrategia para poder sobrevivir con éxito, crear y modelar el futuro que desean, así como gestar un nuevo paradigma y aprovechar al máximo las oportunidades.

De este modo, el desarrollo del proyecto de gestión para la definición y puesta en marcha de *Compañía de Ideas* —empresa prestadora de servicios de diseño—, se justifica al comprender que los procesos de diagnóstico, evaluación y proposición, apoyados en la planeación estratégica, permitirán el desarrollo de una idea empresarial con una prevención proactiva y rendimientos superiores al promedio.

El documento resume la metodología utilizada, presenta la información encontrada como resultado de entrevistas personales, búsqueda en Internet, experiencias prácticas y desarrollo de un proyecto de prestación de servicios de diseño en la empresa *Wooden*

¹ Este artículo fue originalmente publicado en la serie Cuadernos de Investigación, Documento 60-032008, ISSN 1692-0694 de la Universidad EAFIT. Dicha publicación autoriza explícitamente la reproducción total o parcial para fines educativos citando la fuente.

Toucan S.A., sintetiza y refleja toda la situación del negocio, para después de un serio proceso de evaluación, proponer, y recomendar las características del servicio de diseño en procura de lograr ventajas competitivas sostenibles.

Este documento se convierte en una valiosa fuente de información para futuras generaciones de Ingeniería de Diseño de Producto de la Universidad EAFIT y profesionales afines, cuyo interés sea emprender un negocio en el que diseño e innovación se consideren herramientas estratégicas competitivas.

Planeación estratégica

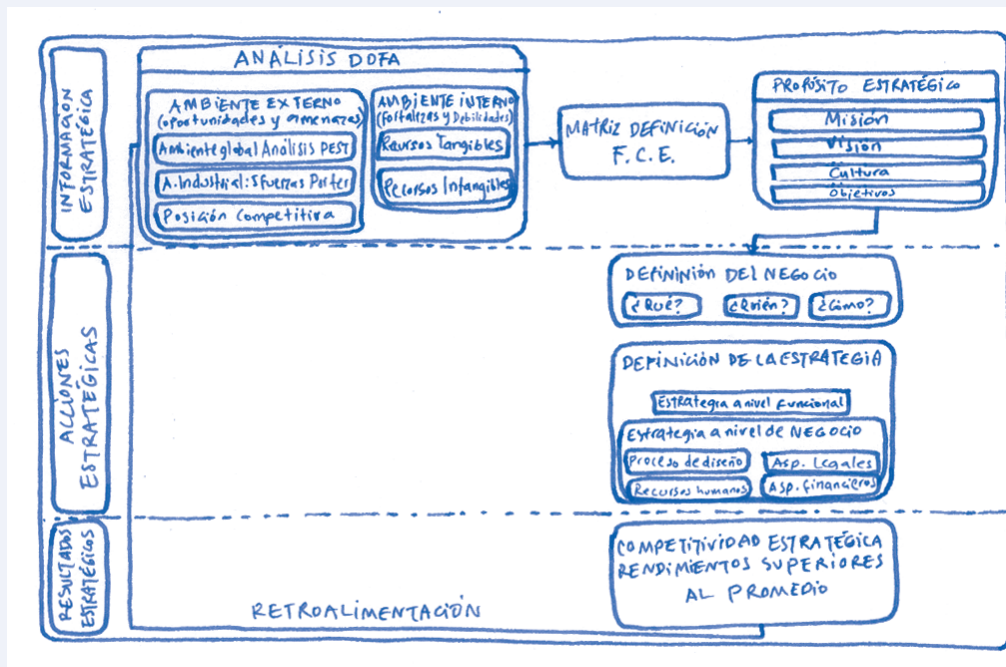
La planeación estratégica tiene que ver con la investigación y el diagnóstico, como herramientas operativas para determinar los lineamientos generales de acción bajo los que debe operar una empresa. Ésta, debe ser entendida como un proceso de anticipación que se logra por medio de actividades planeadas para la creación de una posición única, distintiva, significativa y valiosa ante los clientes, y que los competidores no pueden copiar fácilmente.

Entonces, el gran desafío de esta propuesta se centra en la renovación y adaptación, apoyada en un proceso organizado para generar las condiciones necesarias, crear un futuro deseado y no para adaptarse a uno pronosticado de una empresa prestadora de servicios de diseño, tomando como caso de estudio la empresa *Compañía de Ideas*.

El concepto esencial en este proceso es “elegir” para dar forma a un plan estratégico y sentido a toda la organización, desde sus competencias, atributos, fundamentos, cultura y en general su identidad.

La figura 1, resultado del análisis de diferentes modelos estratégicos, presenta la metodología que ha de utilizarse, camino a la actividad de definición de un plan estratégico, de acuerdo a las condiciones especiales de *Compañía de Ideas*.

Figura 1.
Modelo de planeación estratégica



Fuente: Adaptado de (Johnson, 2001)

Análisis DOFA

El análisis DOFA, un “instrumento estratégico que ayuda a representar y esquematizar en términos operativos y sintéticos un cuadro de situación de la compañía” (Dess y Lumpkin, 2003) consiste en determinar los factores del *ambiente externo e interno*, que pueden favorecer —oportunidades y fortalezas— u obstaculizar —amenazas y debilidades— el logro de los objetivos estratégicos; el objeto de este análisis es identificar las fortalezas internas que deben consolidarse, las oportunidades externas a aprovechar, las debilidades internas a superar y finalmente las amenazas externas a anular.

Análisis del ambiente externo

En el análisis del ambiente externo deben identificarse oportunidades, áreas de necesidades aún no satisfechas —que existen y se espe-

ra pueden existir en el futuro— o que puede inducirse que ocurran en algún momento, y que permitirían alcanzar un desempeño rentable con un impacto positivo en el futuro de la empresa; así como las amenazas o situaciones que existen o pueden ocurrir en el mundo exterior, y que en ausencia de una acción estratégica correctiva pudieran tener un impacto negativo en el futuro de la organización.

Camino a identificar y comprender los fenómenos que se producen en el ambiente externo, se realiza un proceso investigativo apoyado en referencias bibliográficas, bases de datos y entrevistas personales, que se traducen en conclusiones presentadas a través de las siguientes herramientas:

Modelo PEST: análisis del ambiente global

Modelo de las cinco fuerzas propuesto por Porter: análisis del ambiente industrial e identificación de la posición competitiva (Porter, 1980).

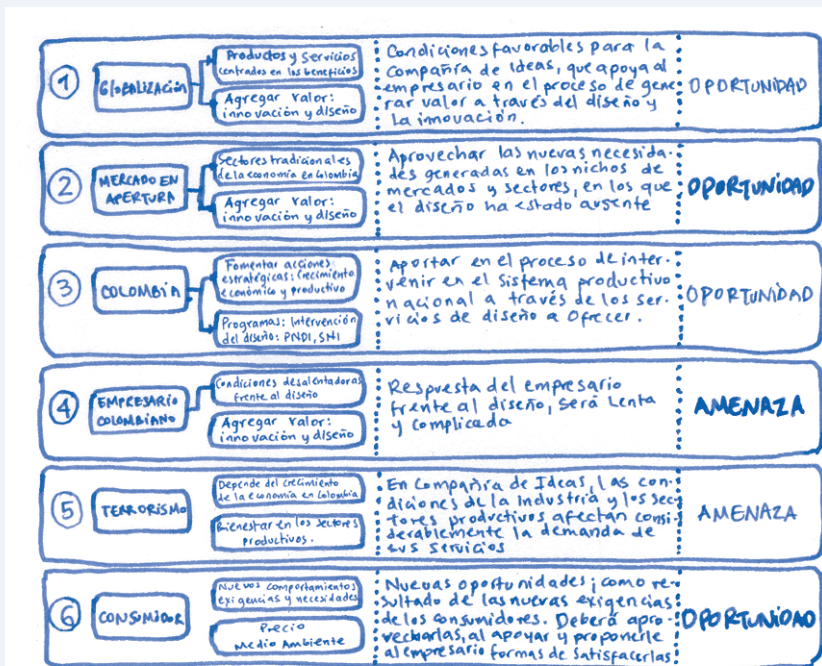
Ambiente global PEST

El ambiente global está compuesto por segmentos externos a la empresa, que la afectan en distinto grado y que se materializan a través del análisis PEST; su objetivo es “identificar los factores políticos, económicos, sociales y tecnológicos que influyen sobre la organización” (Johnson y Acholes, 2001). El reto consiste en rastrear, supervisar y evaluar estos elementos, buscando identificar señales tempranas de cambios potenciales que deben seguir siendo supervisados para saber si en realidad tendrán alguna influencia importante para la empresa *Compañía de Ideas*.

A fin de alcanzar los propósitos del análisis del ambiente global se utilizan varias fuentes de información, entre las que se incluye una amplia variedad de material impreso: publicaciones comerciales, periódicos, revistas, resultados de investigaciones y encuestas públicas, asistencia al Segundo Encuentro Nacional de Innovación llevado a cabo en la Universidad EAFIT, Seminario Futuro con Diseño y finalmente, la evaluación de conversaciones y entrevistas con diferentes personas involucradas en el negocio. Esta actividad de rastreo se convierte en herramienta fundamental para realizar

proyecciones generales factibles de lo que podría suceder como resultado de las condiciones y tendencias detectadas, a fin de formular e implementar estrategias apropiadas. Los resultados se observan en la figura 2.

Figura 2.
Conclusiones y hallazgos, análisis PEST



Autor: Catalina Hoyos

Ambiente Industrial

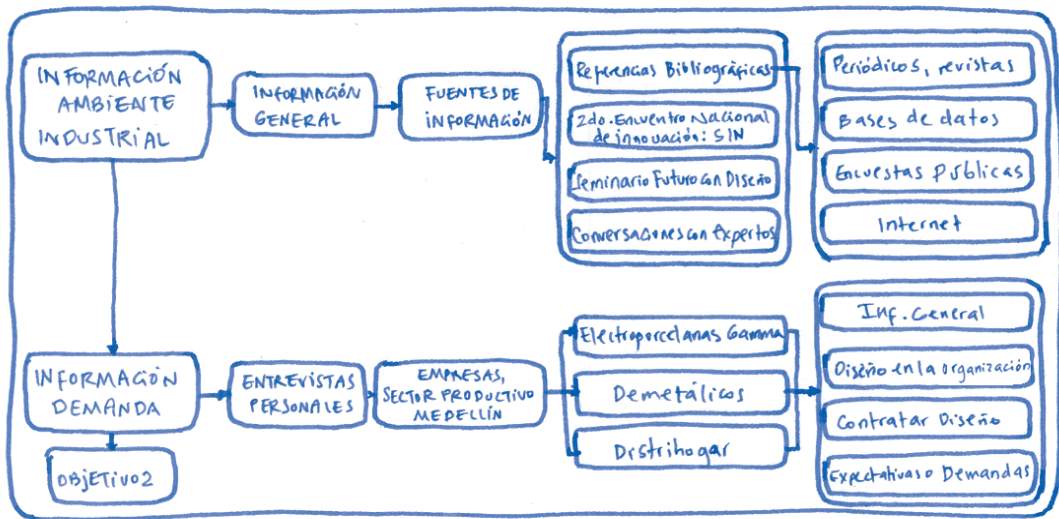
“El ambiente industrial es el conjunto de factores que influyen de manera directa en una empresa, en sus acciones y respuestas competitivas” (Hitt, Ireland y Hoskisson, 1999). En comparación con el ambiente global, el industrial tendrá un efecto más directo en la competitividad estratégica de *Compañía de Ideas*.

Para identificar los factores que pueden influir sobre el grado de competencia, se ha seleccionado como herramienta metodológica el análisis de las cinco fuerzas, propuesto por Michael Porter en 1979. De acuerdo con esta teoría, existen cinco fuerzas que determinan

las consecuencias de rentabilidad a largo plazo en un mercado: "Amenaza de entrada de nuevos competidores, rivalidad entre los competidores, poder de negociación de los proveedores, poder de negociación de los compradores y amenaza de ingreso de productos sustitutos"(Johnson y Acholes, 2001).

Compañía de Ideas debe evaluar sus objetivos y recursos frente a estas cinco fuerzas para, complementado con el análisis de la posición competitiva, contar con un panorama claro que le permita visualizar todos los aspectos del ambiente externo que influyen en sus actividades. El resumen de la metodología empleada para evaluar el ambiente industrial se muestra en la figura 3.

Figura 3.
Resumen, metodología empleada para el análisis del ambiente industrial

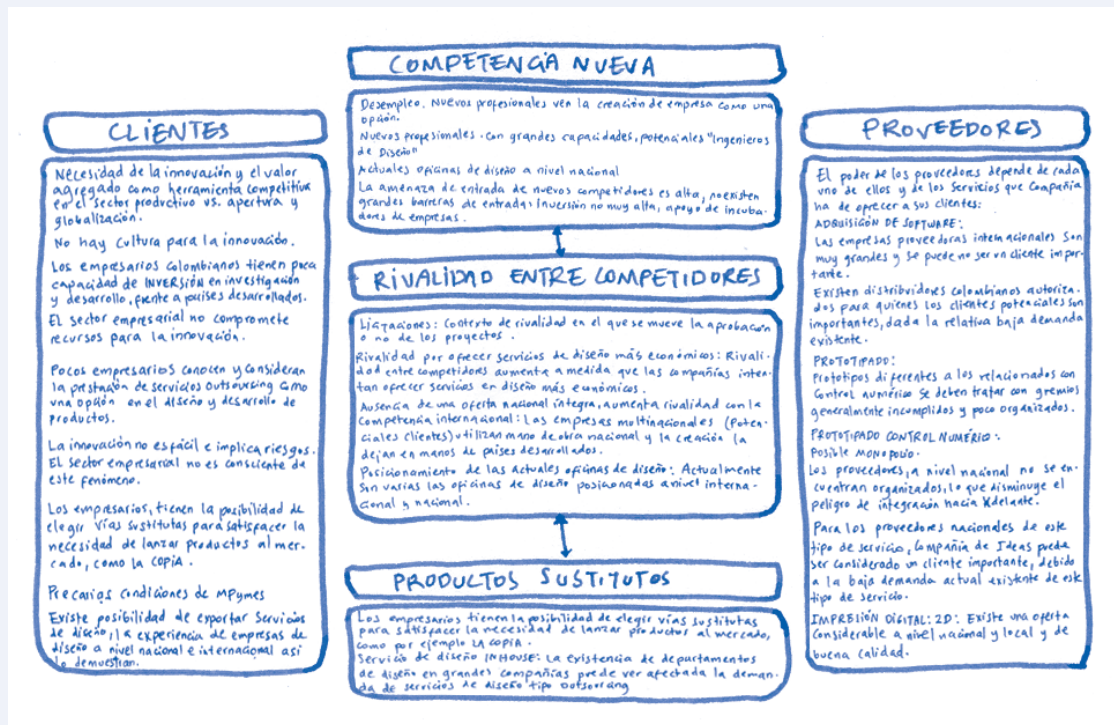


Autor: Catalina Hoyos

Cinco Fuerzas de Michael Porter

Resultado de este proceso de consulta e investigación de la demanda, complementada con la información de la oferta, la figura 4 presenta un resumen del modelo de las cinco fuerzas de Porter aplicado a *Compañía de Ideas*:

Figura 4.
Conclusiones y hallazgos, análisis de las cinco fuerzas de Michael Porter



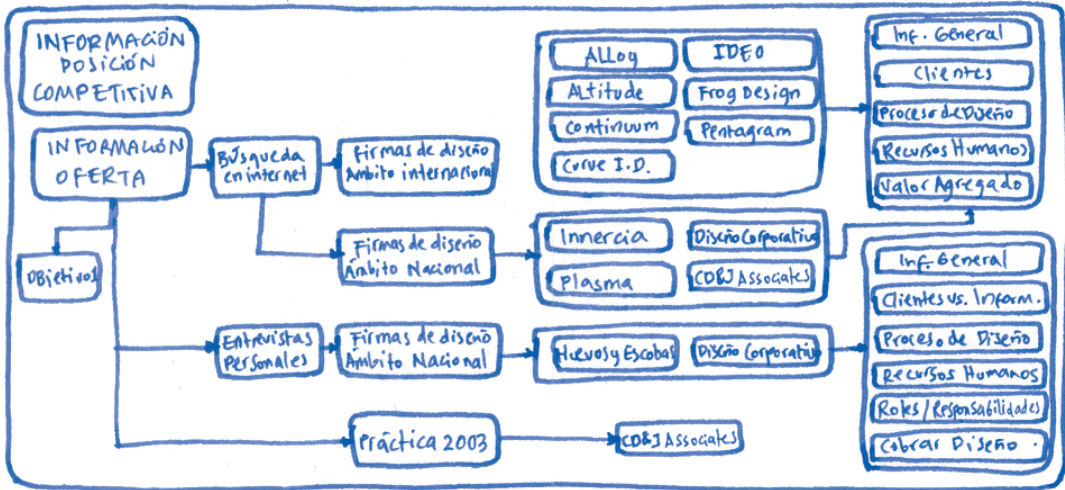
Autor: Catalina Hoyos

Análisis de la posición competitiva

Después de entender el ambiente global e industrial, la última actividad en el estudio del ambiente externo es el análisis de los competidores. "Éste se enfoca a cada compañía con la que la empresa compete en forma directa" (Hitt, Ireland y Hoskisson, 1999).

A fin de comprender la situación actual y el panorama en el que *Compañía de Ideas* debe actuar, se adquiere información sobre los competidores; en este caso, oficinas, firmas o empresas de diseño, a través de un serio y concienzudo estudio cualitativo a nivel nacional e internacional, por medio de entrevistas personales, búsqueda en internet y experiencias prácticas, tal como se muestra en la figura 5. Los resultados y conclusiones se muestran en la tabla 1.

Figura 5.
Resumen, metodología empleada para el análisis de la posición competitiva



Autor: Catalina Hoyos

Análisis del ambiente interno

Se trata de averiguar si los recursos y las competencias se ajustan al entorno en el que se moverá la organización. Para determinar, por comparación, cuáles son las debilidades a mejorar y cuáles las fortalezas con que cuenta la organización, se propone la metodología mostrada en la figura 6. Las conclusiones del análisis del ambiente interno se sintetizan en la figura 7.

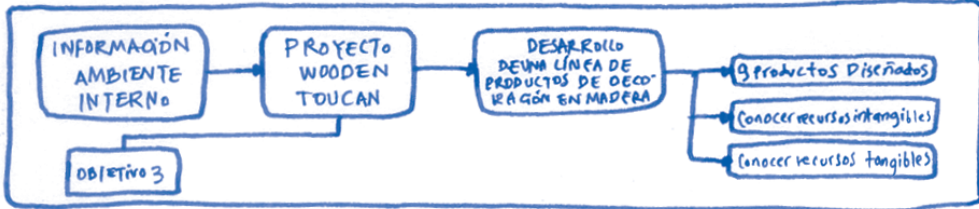
Síntesis DOFA

Se trata de poner en frases cortas las oportunidades, amenazas, fortalezas y debilidades encontradas. La síntesis es crucial, pues facilita el desarrollo necesario de una visión global que permite una prevención proactiva en la empresa y la definición de factores claves de éxito. La matriz DOFA elaborada se muestra en la figura 8.

Tabla 1.
Conclusiones y hallazgos del análisis de la posición competitiva

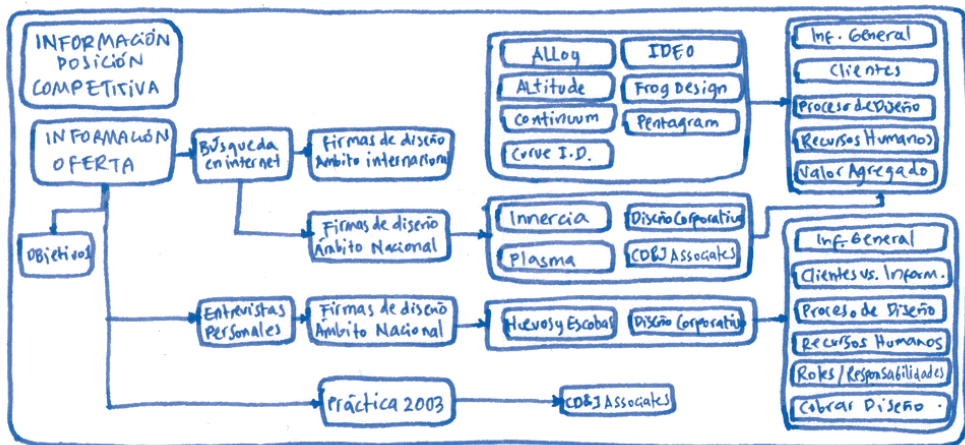
OFERTA INTERNACIONAL	OFERTA NACIONAL
SERVICIOS OFRECIDOS	SERVICIOS OFRECIDOS
Diseño estratégico. Diseño y desarrollo de producto. Análisis de Ingeniería. Enlace y Logística para fabricación. Prototipado: Diseño de espacios y ambientes. Diseño de sistemas de exhibición y señalización. Diseño de marca. Diseño gráfico. Empaques y dispensadores. Diseño digital.	Diseño y desarrollo de productos. Diseño gráfico. Empaques. Diseño de espacios y ambientes. Diseño de sistemas de exhibición y señalización.
SITUACIÓN DE LA OFERTA VS. DEMANDA EN EL SECTOR INDUSTRIAL	SITUACIÓN DE LA OFERTA VS. DEMANDA EN EL SECTOR INDUSTRIAL
Evidente relación entre la oficina prestadora de servicios de diseño y la industria; acorde a las demandas empresariales. El diseño y desarrollo de producto adquiere un lugar de gran importancia en los servicios ofrecidos.	Sector profesional desintegrado e inexistencia de canales eficientes de comunicación.
ALCANCE DE LOS SERVICIOS OFRECIDOS	ALCANCE DE LOS SERVICIOS OFRECIDOS
Alcance completo e integral que va más allá del diseño de un producto o servicio. Un servicio que no se limita al diseño de un producto, sino a influir directamente en el crecimiento del negocio de sus clientes y entregar un proyecto viable de fabricar, funcional y estéticamente agradable.	En los servicios de diseño, actualmente ofrecidos por las oficinas, los clientes encuentran debilidades relacionadas con el alcance.
PROCESO DE DISEÑO	PROCESO DE DISEÑO
Es clara y evidente la importancia del proceso de diseño para el logro de resultados diferenciados y productos innovadores. Creación y uso de herramientas que facilitan y mejoran los resultados de diseño.	Procesos de diseño aparentemente emergentes.
HERRAMIENTAS EN EL PROCESO DE DISEÑO	HERRAMIENTAS EN EL PROCESO DE DISEÑO
Uso de Herramientas de presentación tales como sketch a mano alzada, renders elaborados con ayuda de modeladores 3D: renders iniciales, renders avanzados y renders detallados de producto y despiece; modelos y prototipos (uso de tecnología CAD/CAM)	Uso de Herramientas de presentación tales como sketch a mano alzada, sketch avanzados haciendo uso de herramientas computacionales en 2D, renders elaborados con ayuda de modeladores 3D y renders detallados de producto y despiece.
RECURSOS HUMANOS	RECURSOS HUMANOS
Compañías conformadas por grupos de trabajo interdisciplinarios: factores humanos, aspectos de negocio, diseño industrial, diseño interactivo, ing. mecánica, ing. electrónica, manufactura, ing. de sistemas, diseño gráfico, fabricación de modelos, análisis de diseño, gerencia de proyectos, diseño digital, diseño de marca, entre otros.	Empresas de diseño conformadas por grupos de trabajo, generalmente en áreas como: diseño industrial, diseño gráfico y arquitectura.

Figura 6.
Resumen, metodología empleada para el análisis del ambiente interno



Autor: Catalina Hoyos

Figura 7.
Conclusiones y hallazgos del análisis del ambiente interno



Autor: Catalina Hoyos

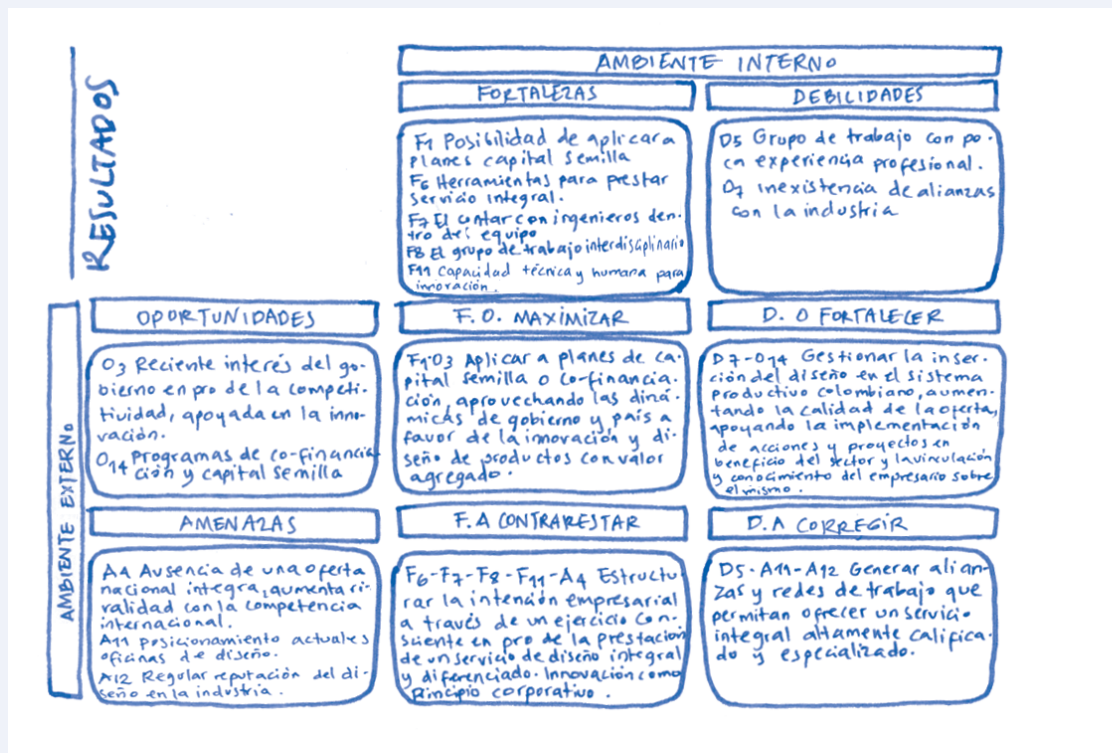
Factores claves de éxito

Actividades que se repiten y que resultan vitales para lograr éxito en la propuesta de valor y estrategia de posicionamiento para *Compañía de Ideas*.

1. Estructurar la intención empresarial a través de un ejercicio consciente en pro de la prestación de un servicio de diseño estratégico, integral y diferenciado.
2. Consecución de recursos físicos y financieros por medio de

- entidades de fomento empresarial, entidades gubernamentales, capital semilla y generación de fondos propios; así como recursos, apoyo técnico e información de los clientes.
3. Gestionar la inserción del diseño en el sistema productivo colombiano, aumentando la calidad de la oferta, aprovechando y apoyando la implementación de acciones, programas y proyectos en beneficio del sector.
 4. Responder a las necesidades locales y circunstancias propias del país, al explorar y aprovechar las oportunidades en sectores en los que Colombia es competitiva.
 5. Capacitación y formación profesional en aspectos financieros, legales y contables; así como adquisición de experiencia a través de un trabajo continuo de aprendizaje.

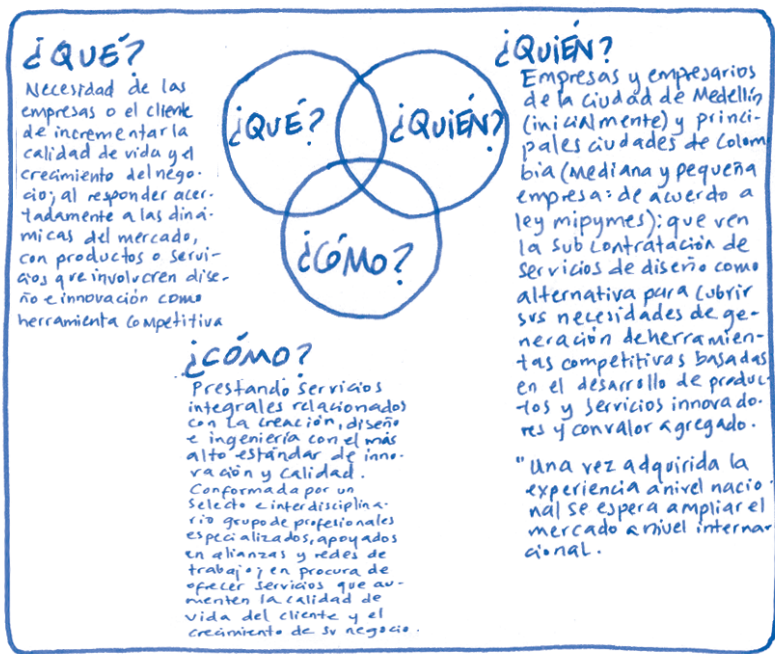
Figura 8.
Conclusiones y hallazgos, síntesis DOFA



Definición del propósito estratégico para Compañía de Ideas

El resultado del análisis de los ambientes —interno y externo— es la información que se requiere para definir el negocio y formar un propósito estratégico, figura 9, que se materializa con la misión y se complementa con la visión, cultura y objetivos corporativos; y que permite dar impulso a los recursos internos, capacidades y aptitudes centrales para alcanzar las metas y objetivos en un ambiente competitivo.

Figura 9.
Conclusiones y hallazgos, definición del propósito estratégico para
Compañía de Ideas



Autor: Catalina Hoyos

Definición de la estrategia para Compañía de Ideas

La definición de la estrategia en cualquier compañía se propone en tres niveles: funcional, de negocios y corporativo. "La estrategia

funcional, directamente relacionada con aquellos aspectos que afectan y generan valor en las operaciones funcionales de la organización; la estrategia de negocio, siendo la más importante, base y centro de la estrategia, es un conjunto integrado y coordinado de compromisos y acciones diseñado para ofrecer valor a los clientes y obtener una ventaja mediante el aprovechamiento de las aptitudes centrales, materializadas en bajo costo, diferenciación o concentración, y finalmente la corporativa que aplica y corresponde única y exclusivamente para aquellas compañías que han entrado en un proceso de diversificación, expansión y crecimiento de las operaciones más allá de una industria” (Wright, Kroll y Parnell, 1998).

Para *Compañía de Ideas* se proponen estrategias a nivel funcional y de negocio; cada una de éstas explicadas en los siguientes capítulos:

Estrategia funcional

“La estrategia a nivel funcional, tendiente a mejorar la efectividad en las operaciones funcionales de fabricación, marketing, manejo de materiales e investigación y desarrollo, se materializa a través de: economías de escala, efectos de aprendizaje, curva de experiencia, fabricación flexible, estrategia de marketing y eficiencia, estrategia de administración de materiales, estrategia de I&D y estrategia de eficiencia de los recursos humanos” (Wright, Kroll y Parnell, 1998). Las conclusiones acerca del análisis de la estrategia funcional se presentan en la figura 10.

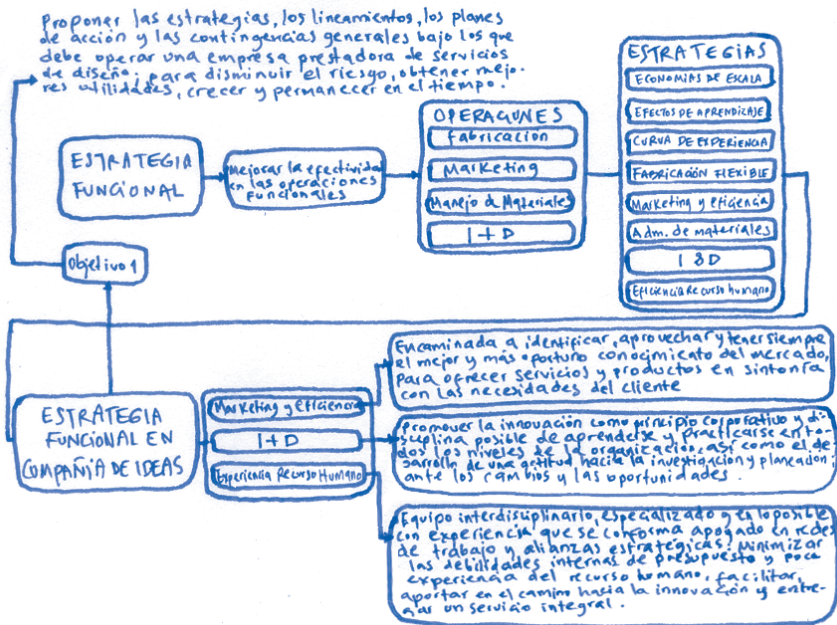
Estrategia de Negocio

“Las estrategias a nivel de negocios se ocupan de la posición industrial de una compañía en relación con sus competidores” (Wright, Kroll y Parnell, 1998); posición que se logra a través del liderazgo en costos, diferenciación o enfoque. La estrategia de liderazgo en costos “es un conjunto integrado de acciones diseñado para ofrecer productos o servicios al costo más bajo posible en relación con los competidores” (Hitt, Ireland y Hoskisson, 1999); la estrategia de diferenciación “intenta ofrecer productos o servicios únicos y distintos a los de los competidores en aquellas características que son muy valoradas por

los compradores y que se puede lograr por diferencias en calidad, innovación, diseño, tecnología, servicio, imagen de marca y canales de distribución” (Johnson y Acholes, 2001); por último, la estrategia de enfoque “es un conjunto integrado de acciones diseñado para fabricar productos que cubren las necesidades de un segmento competitivo en particular” (Hitt, Ireland y Hoskisson, 1999). En este caso, la estrategia de negocio se sintetiza en la figura 11.

Figura 10.

Conclusiones y hallazgos, estrategia funcional para Compañía de Ideas



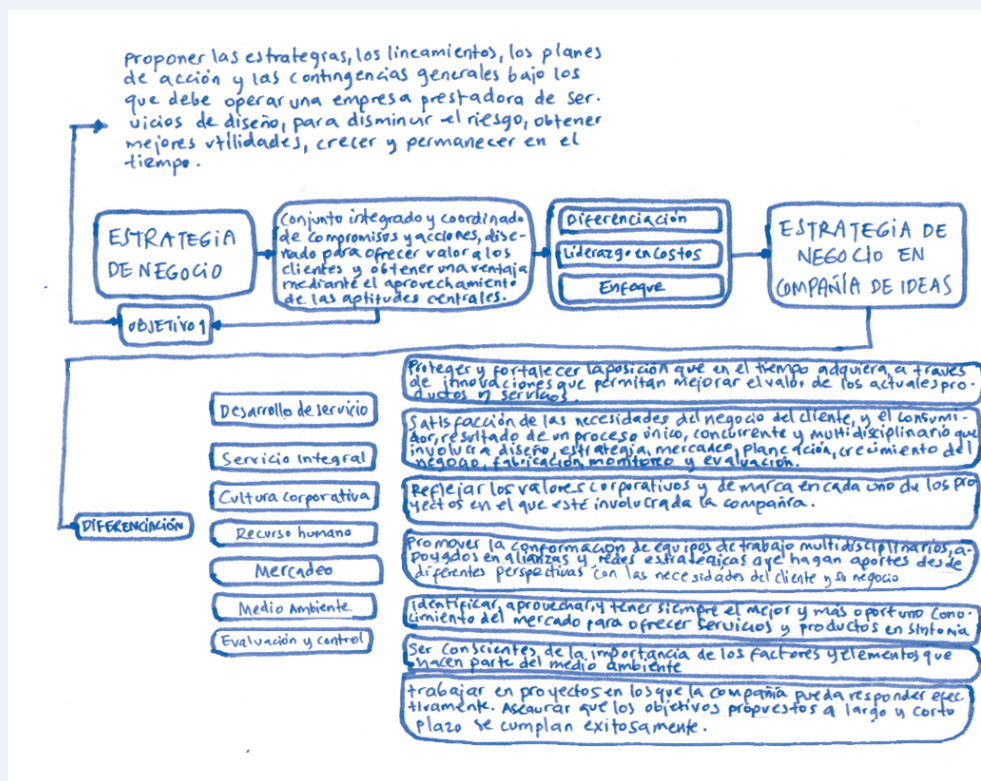
Autor: Catalina Hoyos

Proceso de diseño

La actividad de definición de un plan estratégico para *Compañía de Ideas*, debe considerar el proceso de diseño como un acontecimiento deliberado y no arbitrario, como una metodología estructurada y flexible que abastece de combustible la innovación y que apoyado en una visión holística, permite ofrecer diseños integrales, viables de fabricar, funcionales, estéticamente agradables y que influyen directamente en el crecimiento del negocio del cliente.

Un proceso de diseño, figura 12, correctamente planeado será uno de los elementos que podrían asegurar la exitosa intervención en el mercado colombiano de la empresa, al asegurar resultados superiores que los de la competencia, orientados a mejorar la rentabilidad y el negocio del cliente.

Figura 11.
Conclusiones y hallazgos, estrategia de negocio para Compañía de Ideas



Autor: Catalina Hoyos

Conclusiones

- El proceso de planeación estratégica da forma a las decisiones en *Compañía de Ideas*, así como un sentido a toda la organización; desde sus competencias, atributos, fundamentos, cultura y en general su identidad. La elección estratégica determina lo que la compañía hace y por tanto lo que es, hacia dónde quiere ir y cómo llegar al definir una ventaja competitiva sostenible, y la capacidad

de crear un valor diferenciado para su cliente que la hace distinta y la separa de su competencia.

- La producción de conocimiento y la innovación son los componentes básicos de la competencia internacional y el determinante primordial del crecimiento económico; la dinámica empresarial debe estar basada en actividades de investigación y desarrollo, y reflejada en el aumento de la productividad, representada en nuevos productos en el mercado que han de beneficiar no sólo a empresarios, sino también a los consumidores y a la sociedad en general; condiciones en extremo favorables para empresas como *Compañía de Ideas*, cuya estrategia está orientada a apoyar los procesos de innovación y generación de valor agregado en el sector productivo, con su aporte desde la Ingeniería de Diseño.
- Pese a las nuevas exigencias de una economía en apertura que refleja la noción de cambio y pone en condiciones diferentes a las empresas que no han requerido tradicionalmente de una consciencia de innovación que afiance su proceso incremental de competitividad, se destaca en Colombia la baja inferencia del diseño en el sector productivo, la brecha existente entre la oferta de servicios de diseño y la demanda solicitada por la industria; empresarios con poca capacidad de inversión en diseño y desconocimiento de lo que éste puede hacer en la organización productiva.
- Para disminuir las amenazas propiciadas por las precarias condiciones del sector productivo frente a los procesos de innovación, investigación y desarrollo que afectan considerablemente la vinculación del diseño al sistema productivo, *Compañía de Ideas* debe aprovechar las nuevas oportunidades al aumentar la calidad de la oferta y gestionar la inserción del diseño en las empresas, aprovechando y apoyando la implementación de acciones y programas en beneficio del sector; a través de la integración con entidades de orden nacional y regional; cumpliendo con las necesidades específicas, integrales y reales de los sectores industriales colombianos en lo que a diseño se refiere.
- Dentro del plan estratégico para *Compañía de Ideas* es fundamental identificar y responder a las necesidades locales del país, explorar

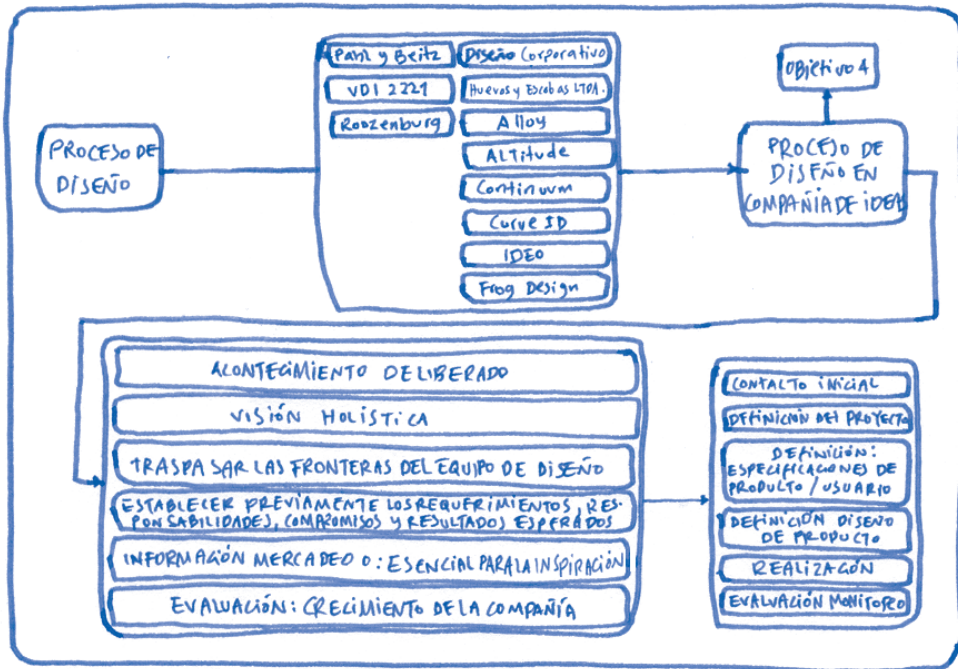
y aprovechar las oportunidades en sectores en los que Colombia es competitiva, con el fin de fortalecer por medio del desarrollo de conocimiento y de identidad cultural la posición competitiva de la empresa y disminuir las amenazas generadas por la entrada de nuevos competidores.

- El outsourcing de las actividades de diseño se convierte en una opción viable y atractiva para el empresario colombiano, quien con menores costos y recursos tendrá la posibilidad de contar con un equipo integrado por diferentes profesionales que aportan nuevas y diferentes soluciones a la empresa. Oportunidad que aprovechada por *Compañía de Ideas* se convierte en una ventaja competitiva importante frente a la tradicional intervención del diseño en la empresa.
- El servicio de diseño que ofrece *Compañía de Ideas* no debe limitarse a un proceso creativo, sino que además debe influir directamente en el crecimiento del negocio del cliente al entregar un proyecto viable de fabricar, funcional y estéticamente agradable; apoyado en una visión holística e integral para, en un acompañamiento permanente, superar las expectativas del cliente.
- En *Compañía de Ideas* el proceso de diseño debe ser entendido como una actividad única de innovación, concurrente y multidisciplinaria, eficientemente gerenciada, monitoreada y evaluada en apoyo del cliente y los usuarios, con herramientas especiales que facilitan el acercamiento a la innovación y permitan alcanzar resultados exitosos que satisfagan y superen las necesidades y expectativas de todas las partes involucradas, camino a generar un continuo y permanente crecimiento de la compañía, fidelidad y las mejores relaciones con el cliente.
- El recurso más importante en *Compañía de Ideas* son las personas; por ello, promover la conformación de equipos de trabajo multidisciplinarios con profesionales que hacen aportes desde diferentes perspectivas, apoyados en alianzas estratégicas, asegura un trabajo efectivo de equipo que desarrolla habilidades flexibles para la solución de problemas y se convierte en una importante ventaja competitiva, que además de generar confianza en el empresario colombiano, facilita y aporta considerablemente en el camino hacia la innovación.

- Una de las grandes debilidades que afrontan las firmas de diseño en Colombia obedece en gran parte a la ausencia de planeación de los aspectos financieros; pese a ser el precio uno de los factores más importantes que tiene en cuenta el cliente para su elección, es esencial en *Compañía de Ideas* tener claro el sistema de cotización, la rentabilidad y saber dónde está el punto de equilibrio y la línea entre pérdidas y ganancias.
- Los aspectos legales que rodean la labor de diseño deben considerarse tan importantes como la actividad misma de creación, al tratarse de una empresa cuyos resultados están directamente relacionados con la propiedad intelectual y la generación de conocimiento; debe por tanto, asegurarse el respeto y el cumplimiento entre las partes involucradas.

Figura 12.

Conclusiones y hallazgos, proceso de diseño para Compañía de Ideas



Autor: Catalina Hoyos

Bibliografía

Dess, Gregory y G. T.Lumpkin, *Strategic Management*, 1a. edición, Estados Unidos de América, 2003, p. 50.

Hitt, Michael, Duane Ireland y Robert E. Hoskisson, *Administración estratégica: competitividad y conceptos de globalización*, 3.ª ed., Ciudad de México, Thomson Editores S. A., 1999, 502 p.

Johnson, Ferry y Kevan Acholes, *Dirección estratégica*, 5a edición, Madrid, Prentice Hall, 2001, 716 p.

Porter, M.E., *Estrategia competitiva: técnicas para el análisis de los sectores industriales y la competencia*, 8a edición, México, Compañía Editorial Continental, 1987, p. 14.

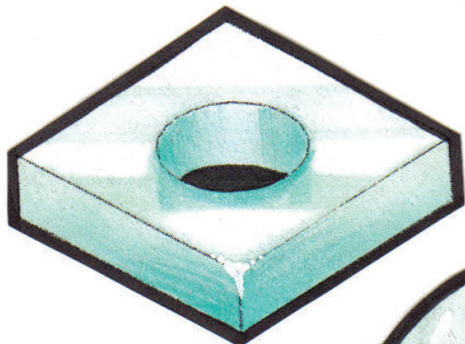
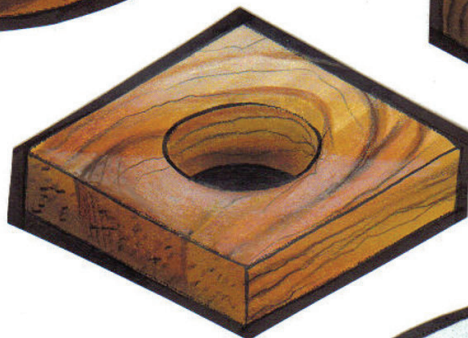
Wright, Meter, Mark Kroll y John Parnell, *Strategic: Management: Concepts and Cases*, s.l., Prentice-Hall, 1998, pp. 89-135-169.



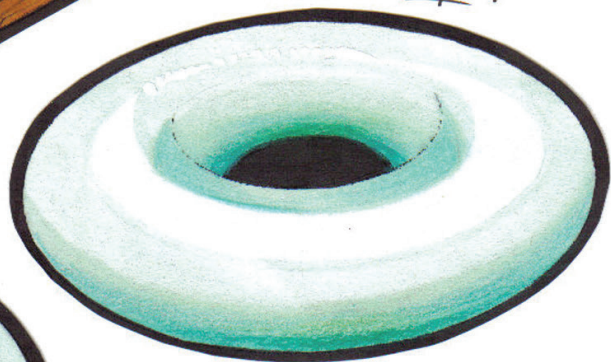
Mariaf.



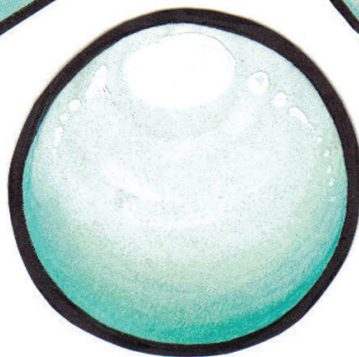
Madera.



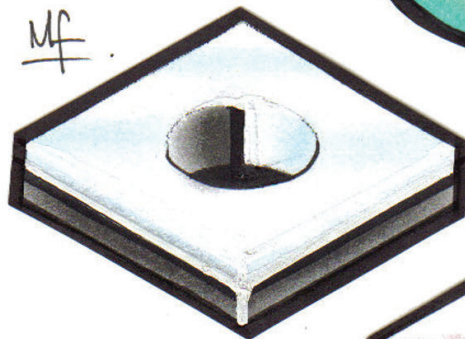
Mf.



Mf.

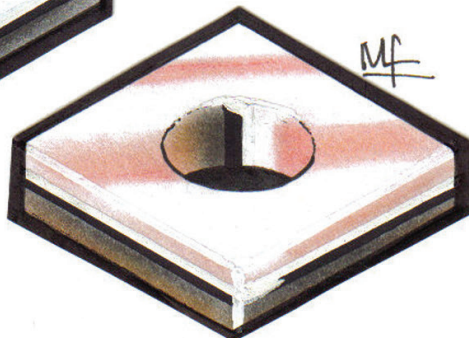


vidrio

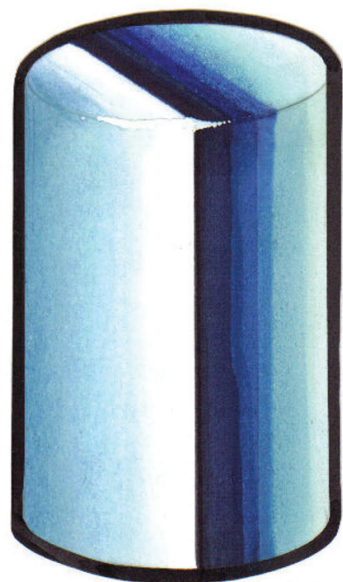


Mf.

Cromado



Mf.



Mf.

Acritico

SISTEMA DE COCCIÓN y CALEFACCIÓN para hogares ubicados en zonas aisladas sin conexión a la red eléctrica

Juliana Raigosa Montoya
María Marcela Jaramillo Velásquez
Asesor: José Fernando Martínez

Introducción

Actualmente en Colombia, casi un 13% de la demanda energética es cubierta por el uso de biomasa, en su mayoría leña, donde un 96% se utiliza a nivel residencial —básicamente en el sector rural—, y para cocción (Stolovich, 1999). La biomasa es la fuente de energía renovable más antigua conocida por el ser humano, pues ha sido usada desde que nuestros ancestros descubrieron el secreto del fuego (BUN-CA, 2002). El uso actual de esta fuente de energía amenaza no sólo las reservas forestales y naturales del país, sino que además deteriora la salud de las personas que se exponen diariamente a las emisiones producidas en la quema abierta de la biomasa.

El uso de biomasa, ya sea leña u otros desechos orgánicos se realiza mayormente en las ZNI (zonas no interconectadas), entendidas como aquellos territorios que no se encuentran atendidos por un sistema interconectado a la red eléctrica nacional. Dichas zonas están conformadas por poblaciones aisladas, geográficamente, de los asentamientos urbanos más importantes. Al hablar del uso de esta biomasa es indispensable tener en cuenta dos impactos relacionados con la recolección de la materia prima como tal y su uso, los cuales son: riesgos en la salud e implicaciones medioambientales.

Por esta razón, el tema de la necesidad de un sistema de cocción de alimentos que disminuya los impactos con el medio ambiente y que mejore la calidad de vida de los habitantes de las zonas no interconectadas, es de impacto mundial; por ello, alrededor del mundo algunas empresas, personas naturales (expertos) y centros de investigación han desarrollado adelantos en proyectos y productos para satisfacer la necesidad. Algunos países han desarrollado hornos

especiales para suplir la demanda, basados en el uso de energías renovables (Westhoff y Germann, 1995).

De esta manera, conscientes de que el problema ha sido abordado en otros países, con buenos resultados obtenidos, nace la idea de crear un producto mejor que los existentes en términos de consumo energético, que sea innovador y que pueda adaptarse al contexto de las zonas rurales, teniendo en cuenta las actividades política, económica, ambiental, y social, entre otras, de Colombia.

Metodología

La metodología del proyecto pretende establecer procesos, métodos y técnicas que permiten el logro de uno o varios objetivos. Cada uno de los métodos utilizados facilita el acceso a conocimientos que aseguran el alcance de esos objetivos. La metodología es el primer paso en la construcción y planeación de un proyecto.

En este caso, el diseño se encuentra basado en las tres fases principales expuestas en la metodología desarrollada por la empresa *ID Plus Engineering Solutions S.A.*, la cual es complementada para el diseño de las etapas internas de cada fase, con la metodología de la empresa *IDEO Design*, catalogada como una de las compañías mundiales líderes en negocios e innovación.

La adaptación de ambas metodologías, figura 1, da como resultado la metodología a usar durante el proyecto.

Cada etapa de la metodología contiene herramientas específicas que buscan el logro de objetivos esenciales para el desarrollo exitoso del proyecto. Estas herramientas son abstraídas de diferentes autores y métodos de diseño estudiados durante la carrera y se sintetizan en la tabla 1.

Exploración

Observar

Tras el uso de las herramientas de observación usadas para esta fase, se encuentran aspectos de análisis fundamentales para el proceso

de diseño, base de las que fueron las especificaciones del producto. Algunos de estos aspectos son:

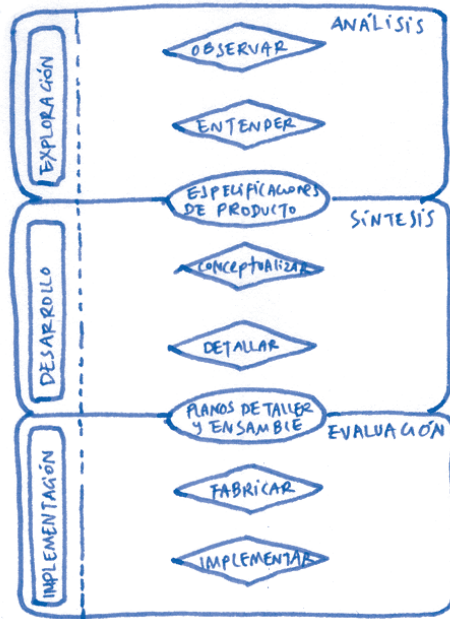
- El usuario principal, de acuerdo a la investigación realizada, es una mujer ama de casa, en algunos de los casos, cabeza de familia. Estas mujeres son fuertes y entregadas a las tareas del hogar como lo es la alimentación de las personas que lo conforman, el cuidado de los niños, entre otras.
- El usuario cocina con leña por tradición y por necesidad. La tradición proviene de sus familias, y la mayoría de alimentos que cocinan tienen un mejor sabor si son cocinados en leña. Esto quiere decir que se considera que el usuario tiene un estilo de vida tradicional (estilo de vida entendido como todo lo que gira alrededor del individuo) y se caracteriza por ser rígido, rústico y conservar herencias y costumbres.
- Los hogares descritos como contexto interno son inestables y carecen de buenas condiciones de seguridad e higiene. Por lo general son casas pequeñas y el humo generado en la quema de la madera se distribuye rápidamente por todas las habitaciones.
- Estas casas constan de un lugar comunitario para dormir (un cuarto acondicionado con varias camas), una cocina, un lavadero que generalmente está en la parte trasera y un patio.
- El contexto externo de estas casas es la mayoría de las veces desconectado y lejano. Pero tal y como se concluyó en las actividades anteriores, no es necesario visitar zonas oficialmente no interconectadas para encontrar hogares que cocinan diariamente con biomasa. Por lo tanto, las características generales que agrupan estas zonas se pueden describir como rurales, rodeado de naturaleza y recursos de la misma.

Entender

Por medio de diferentes análisis, como el de ergonomía —en el que se hicieron recomendaciones de posturas medidas y temperaturas

adecuadas—, el de estado del arte en tecnología y evaluación del mismo —de donde se obtuvo el tipo de tecnología a usar: “Mejorada portátil con materiales mixtos”—, y finalmente el de la observación de productos de la competencia, se pudieron extraer especificaciones para el diseño del producto, algunas de las cuales se listan en la tabla 2.

Figura 1. Metodología sugerida



Autor: Juliana Raigosa y Marcela Jaramillo

Desarrollo

Conceptualizar

Por medio tanto del análisis conceptual como investigativo del producto, se llegó a los módulos principales que debían componer el producto, los cuales son: el de la preparación del sistema, el de calentamiento de alimentos y finalmente el apagado del sistema. Además, se identificaron los componentes del producto de manera esquemática, lo que permitió una posterior arquitectura del producto

teniendo claros los principios de diseño y funcionamiento, entre los cuales estaban: combustible, proceso de combustión, transferencia de calor, fluido de gases, aire y humo y finalmente los principios de diseño para hornos mejorados.

Además, se hizo un análisis formal del contexto y usuario, que condujo a las formas más apropiadas para el diseño del producto: simples, combinaciones de curvas y rectas, texturas troqueladas y grafadas, entre otros. Estas conclusiones sumadas a la arquitectura final del producto, figura 2, se toman como la base para el inicio del proceso de diseño de alternativas, que luego de un proceso de diseño y evaluación llevan a la selección de una alternativa seleccionada para detallar posteriormente.

Tabla 1. Etapas y herramientas de la metodología

FASE DE DESARROLLO	<ul style="list-style-type: none"> • DISEÑO PARA LA CALIDAD • DISEÑO PARA LA SEGURIDAD • DISEÑO PARA LA CONFIABILIDAD • DISEÑO PARA EL MENOR RIESGO • DISEÑO PARA LA PRUEBA • DISEÑO PARA EL MENOR TIEMPO DE COMERCIALIZACIÓN
FASE DE PRODUCCIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • DISEÑO PARA EL COSTO - INGENIERÍA DE VALOR • DISEÑO PARA EL ESTÁNDAR • DISEÑO PARA EL MONTAJE • DISEÑO PARA LA MANUFACTURA • DISEÑO PARA LA LOGÍSTICA .
FASE DE UTILIZACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • DISEÑO PARA LA ERGONOMÍA • DISEÑO PARA LA ESTÉTICA • DISEÑO PARA LA USABILIDAD • DISEÑO PARA EL MANTENIMIENTO
FASE DE DISPOSICIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • DISEÑO PARA EL MEDIO AMBIENTE • DISEÑO PARA EL RECLAJE • DISEÑO PARA EL DESMONTAJE

Tabla 2.
Algunas especificaciones del producto

	ETAPA	HERRAMIENTAS (AUTOR /REFERENCIA)
EXPLORACIÓN	OBSERVAR	<ul style="list-style-type: none"> - Salida de campo: Guías de observación contexto y uso (Ulrich & Eppinger, 1995) - Entrevistas a usuarios (Ulrich & Eppinger, 1995) - Story boards (Context and Conceptualization, TUDelft) - Collages de estilo de vida, Contexto y usuario (Baxter, 1995)
	ENTENDER	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis de ergonomía (Task analysis, Baxter, 1995) - Estado del arte en tecnología (Baxter, 1995) - Guía de observación (Productos Competencia) Ulrich & Eppinger, 1995 - Estado del arte: Harris profile (Roozemburg) - Especificaciones de diseño de producto (Pugh, 1990)
DESARROLLO	CONCEPTUALIZAR	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis funcional (Nigel Cross, 2000) - Arquitectura del producto (Product permutation, Baxter 1995) - Repertorio formal (Moller, 1995) - Generación de alternativas (Marc Cassoul, Creative facilitation TUDelft, 1999-2016) - Evaluación y selección de alternativas (Harris profile) - Geometrización del producto - Gestalt (Product Styling, Baxter, 1995)
IMPLEMENTACIÓN	DETALLAR	<ul style="list-style-type: none"> - Cálculos (parte técnica) - Diseño para x (ensamble, manufactura, FEA) - Herramientas CAD (Modelación 3D) y CAE (elementos finitos)
	FABRICAR	<ul style="list-style-type: none"> - Técnicas de modelos y prototipos
	IMPLEMENTAR	<ul style="list-style-type: none"> - Pruebas de usuario: USERFIT (Userfit methodology, 1996)

Autor: Juliana Raigosa y Marcela Jaramillo

La geometrización por medio de la proporción áurea, fue una herramienta fundamental para la complementación y dimensionamiento del producto, ya que permitió ajustar los detalles y proporciones correctas para pasar a la modelación tridimensional del horno.

Detallar

Las herramientas de modelación y análisis de elementos finitos permiten visualizar el producto desde diferentes puntos de vista, como son su dimensionamiento, su forma y su resistencia al uso.

También, y por medio de la modelación del contexto, se pudieron tomar decisiones sobre la pertinencia de ciertas formas en el producto.

Además de estas herramientas computarizadas, se realizó un análisis de ingeniería desde la experimentación, que permitió conocer la forma óptima de la cámara de combustión y su material. Esta experimentación, complemento el análisis ingenieril computarizado, acercó y mejoró el conocimiento de los autores por medio de la experiencia y la observación de fenómenos como el de la combustión. Finalmente, se obtiene el modelo del producto mostrado en la figura 3.

Figura 3.
Concepto final desde la modelación 3D



Autor: Juliana Raigosa y Marcela Jaramillo

Implementación

Fabricar

La fabricación es la fase en la que se lleva a la realidad todo lo planeado y detallado para el producto, permite visualizarlo a escala real y más importante aún, es el instrumento principal para evaluar su funcionalidad y adaptabilidad a las necesidades del usuario y contexto.

Figura 4.
Pruebas de usuario



Autor: Juliana Raigosa y Marcela Jaramillo

Conclusiones

En el desarrollo del sistema de cocción y calefacción, se hizo énfasis en la primera tarea. Esta acción comparada con la de calefacción incluye más aspectos y componentes a analizar, ya que la acción de calefactor es propia de cualquier elemento que emane calor, como es el caso del producto. Es así como se ha diseñado un producto óptimo en cocción, que por su carácter portátil lo convierte en un calefactor transportable que al final del proyecto fue verificado en su función de calentar ambientes como una “chimenea portátil”.

Por medio del presente proyecto se pudieron aplicar diferentes campos que destacan al ingeniero de diseño de producto como un profesional interdisciplinario. Entre estos campos y herramientas se destacan el uso y aplicación de metodologías de diseño, la capacidad de investigación y exploración, el uso de herramientas 3D, la formalización de productos y el diseño conceptual, entre otras.

El diseño de productos dirigidos especialmente para usuarios en la base de la pirámide (BOP) —es decir que cuentan con recursos escasos o nulos para la adquisición de productos—, plantea un reto en la labor del ingeniero de diseño de producto, ya que se cuenta de entrada con muchas especificaciones y parámetros que delimitan el proceso, así como hace relativos conceptos como la estética, la belleza, la adaptabilidad, la funcionalidad y la comodidad, entre otros.

El producto, resultado de este proyecto, logra conciliar aspectos que desde su inicio se identificaron vitales a la hora de diseñar, tales como los bajos costos en la producción, la eficiencia en la quema de la madera y el tiempo en el calentamiento de los alimentos; con otros que se hacían urgentes por el contexto y el usuario, como ofrecer un producto que mejorara su vida diaria y que al mismo tiempo quisieran adquirir, ya que es innovador pero conserva sus costumbres y se adapta a sus espacios.

Se concibe un producto que muestra mejoras con respecto a los hornos tradicionales de leña encontrados en la salida de campo y algunos hornos mejorados ya diseñados, con el cual se logra disminuir la cantidad de humo emitido y la leña necesaria para cocinar, aumentar la eficiencia de la combustión y mejorar la apariencia estética de manera que se adapte al contexto y al mismo tiempo al usuario, que lo encuentra agradable y expresa deseo por tenerlo.

Los detalles diseñados para el producto suplen necesidades que no estaban cubiertas por hornos anteriores, tales como la apariencia estética, la movilidad y transporte, la facilidad en la limpieza, la comodidad y adaptabilidad al entorno y costumbres de los usuarios.

En el proyecto se evidenció la necesidad de conocer al usuario desde tantos puntos de vista como fuera posible, es por esto que en la fase de observación —que es la base de las especificaciones del producto—, fue básico conocer las necesidades del usuario, vivirlas, escucharlas y verlas desde diferentes métodos que lo permitieran.

Retomando el aspecto sobre el nivel de dificultad que plantean los productos de carácter social —donde las decisiones deben basarse primordialmente en el usuario y deben dejar a un lado criterios personales—, se recomienda que para el desarrollo de proyectos similares se cuente con métodos que permitan tener una interacción

constante con el usuario durante todas las etapas de la metodología —como en la generación de alternativas y selección de conceptos— que, por el alcance y la lejanía de las zonas del usuario del presente proyecto, fue complicado realizar.

Bibliografía

BUN-CA (ONG), *Manuales de energía renovable: BIOMASA*, San José, Costa Rica, s.e., 2002.

Stolovich, L., *Energía y banca multilateral en América Latina: contradicciones entre la realidad y el discurso*, América Latina: ITEM, 1999.

Userfit Methodology, Reino Unido, HUSAT Research Institute, 1996.

Westhoff, B. y D. Germann, *Estufas en imágenes: una documentación sobre las estufas mejoradas y tradicionales de África, Asia y América Latina*, s.l., Comisión de las comunidades europeas, 1995.

