

Complejidad, Sostenibilidad y Tecnología: Un enfoque integrador para el desarrollo de proyectos académicos en ingeniería de diseño.

Ricardo Mejía-Gutiérrez

Grupo de Investigación en Ingeniería de Diseño – GRID, Medellín, Colombia, rmejiag@eafit.edu.co

Gilberto Osorio-Gómez

Grupo de Investigación en Ingeniería de Diseño – GRID, Medellín, Colombia, gosoriog@eafit.edu.co

RESUMEN

La materialización de proyectos de diseño ha demostrado ser un factor clave para la evaluación de nuevas ideas y, en este campo, el Departamento de Ingeniería de Diseño de la Universidad EAFIT ha sido pionero en el medio Colombiano. Con el objetivo de llevar a un nivel superior este proceso se propone un nuevo enfoque integrador orientado al desarrollo de alternativas de transporte sostenible con alto contenido tecnológico, particularmente en movilidad eléctrica, donde se combinan la complejidad de los sistemas de transporte, junto a la necesidad de desarrollar productos sostenibles al igual que a la utilización de las nuevas tecnologías en el área de Product Lifecycle Management (PLM). Se presenta la metodología utilizada para el desarrollo de este tipo de proyectos a nivel académico, detallando las actividades y herramientas principales y se describe un caso de estudio exitoso en el desarrollo del prototipo funcional de una bicicleta eléctrica, con el fin de evidenciar los descubrimientos y la experiencia obtenida en este tipo de implementaciones que en el futuro se verán traducidas en ingenieros formados en desarrollo avanzado de productos, así como en una sensibilización de la industria en el tema.

Palabras claves: Transporte sostenible, Ingeniería de Diseño de Producto, Metodología académica de diseño

ABSTRACT

The materialization of design projects has demonstrated to be a key factor for the evaluation of new ideas. In this field, the Department of Product Design Engineering from EAFIT University has been pioneer in Colombia. In order to take this process to a new level, an integrated approach has been proposed oriented to the design and development of sustainable transport value added products, particularly in the field of electric mobility, where transport systems complexity is combined with the need of developing sustainable products, together with the use of technologies in the area of Product Lifecycle Management (PLM). It is presented the adopted methodology for development of this kind of projects at academic level, detailing main activities and tools, and describing a successful case study for the design of a functional prototype of an electric bicycle, in order to demonstrate the findings and experiences obtained in this kind of implementations that, in the future, will be translated into trained engineers on advanced product development, as well as to raise industrial awareness in the subject.

Keywords: Sustainable transport, Product Design Engineering, Academic design methodology

1. INTRODUCCIÓN

1.1 ENFOQUE METODOLÓGICO EN PROYECTOS DE DISEÑO

El Departamento de Ingeniería de Diseño de Producto, de la Universidad EAFIT, ha orientado su formación a la realización de proyectos en los que los estudiantes deben enfrentarse a problemas prácticos de ingeniería y diseño de producto en diferentes sectores y para diferentes necesidades. Durante el desarrollo de dichos proyectos y en las diferentes asignaturas de la Escuela de Ingeniería se hace especial énfasis en la aplicación de metodologías de diseño orientadas a la obtención de buenos resultados y a la creación de una disciplina de trabajo. Dentro de las metodologías de diseño clásicas adoptadas se encuentran la metodología de diseño sistemático propuesta por Pahl y Beitz (Pahl and Beitz, 1995), el proceso de desarrollo de productos propuesta por Ulrich y Eppinger (Ulrich et Eppinger, 2000), metodologías de diseño para manufactura y ensamble (DFMA) (Boothroyd et al., 2002) y diseño para el medio ambiente (DFE) (Giudice et al., 2006), otras metodologías como las de Priest (Priest, 1988), Pugh (Pugh, 1991) o Ullman (Ullman, 1997) y el modelo integrado para el desarrollo de productos introducido por Andreasen (Andreasen and Hein, 1987). El último proyecto del programa retoma una metodología integral basada en las metodologías mencionadas anteriormente y se enfoca en la realización de productos en el área de la movilidad eléctrica, partiendo desde la identificación de la necesidad hasta la construcción de un prototipo funcional apto para pruebas y con acabados industriales.

1.2 LA MOVILIDAD ELÉCTRICA EN COLOMBIA

Los crecientes problemas de contaminación ambiental y la dependencia de los combustibles fósiles han generado, a nivel mundial, un interés en el mejoramiento de los actuales motores de combustión interna y en el desarrollo de nuevos medios de transporte impulsados por fuentes alternativas de energía. Es por esto, que en muchos países industrializados, los gobiernos están impulsando nuevos desarrollos, estimulando a las grandes empresas productoras de vehículos para que desarrollen sus propios modelos de propulsión híbrida o eléctrica. La propulsión híbrida se vio como el paso natural entre los vehículos endotérmicos y eléctricos, pero la existencia de dos fuentes de energía diferentes a bordo equivale a una doble inversión en desarrollo. Por lo tanto, la investigación y el desarrollo en la propulsión puramente eléctrica han ganado espacio y se están comenzando a introducir vehículos eléctricos de producción en serie en el mercado, como el Nissan Leaf y el Chevrolet Volt.

Si bien es cierto que en los vehículos eléctricos la emisión contaminante es cero durante el transporte, la energía eléctrica utilizada debe generarse en alguna parte y es acá donde se debe realizar un balance sobre la verdadera eliminación de la contaminación. Bajo este escenario, Colombia es un país privilegiado en el tema de la generación eléctrica y un buen campo experimental para la observación de los beneficios de la movilidad eléctrica, ya que el 79,6% de la energía eléctrica generada corresponde a aportes hídricos, es decir energía renovable, con una producción de 3839 GWh mensuales frente a un 14,6% de generación térmica y un 5,8% de cogeneración y menores (Ministerio de Minas y Energía, 2010). Además, los altos niveles de contaminación, en especial por material particulado, compuestos orgánicos, CO y NOx que generan las fuentes móviles en centros urbanos y que generan graves problemas de salud en la sociedad colombiana, podrían reducirse considerablemente con este tipo de solución.

Sin embargo, en Colombia no hay suficientes incentivos gubernamentales, ni se cuenta con la infraestructura necesaria para su operación, razón por la cual sólo algunos vehículos, motos y bicicletas eléctricas de fabricantes poco reconocidos han sido probados en ciudades colombianas. Los resultados obtenidos con estos vehículos han demostrado que no responden adecuadamente a la totalidad de la topografía colombiana, especialmente en ciudades montañosas como Medellín donde las pendientes pueden alcanzar el 20% y la potencia y la autonomía de los vehículos no corresponde a dichos requerimientos. Sin embargo, con las motocicletas y bicicletas eléctricas se han observado mejores resultados desde el punto de vista técnico cuando se habla de potencia superior a los 3kW, demostrando que, desde el punto de vista de desarrollo a nivel local, una de las soluciones viables

corresponde al diseño de vehículos de transporte unipersonal o de bajas cargas con recorridos y autonomías limitadas, y es a esto a lo que actualmente se está apuntando desde la Universidad EAFIT en los proyectos académicos de Ingeniería de Diseño de Producto.

1.3 LAS TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN: *PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT*

La administración del ciclo de vida de un producto, o también conocido como PLM (*Product Lifecycle Management*), es una filosofía encaminada a crear, administrar y a compartir el conjunto de la información de definición, fabricación, calidad, mantenimiento, reciclaje, etc. de un producto, a lo largo de su ciclo de vida, desde los estudios preliminares hasta su final de vida (Tipnis, 1999). Las recientes tendencias de ingeniería concurrente/colaborativa han implicado una utilización de esta información por parte de los diferentes actores involucrados en el desarrollo, los cuales utilizaban y/o modificaban estos datos con independencia de los datos originales y a veces hasta rehaciéndolos (si no se tenía acceso a los datos oficiales), generando todo tipo de problemas (Kurland and Brown, 2008). Esto refleja la forma de trabajar de las empresas en la época de los sistemas lentos basados en papel y es una actividad común en el desarrollo de proyectos académicos gestionados por los estudiantes mismos.

En las últimas décadas la continua introducción de nuevos métodos para mejorar la gestión de la información de diseño, la disponibilidad de herramientas de cómputo a menores costos y las mejoras en la comunicación global, han permitido pasar de un trabajo manual, al uso de sistemas para la administración de la información del ciclo de vida de un producto (Mejía and Molina, 2006), permitiendo la interacción y acceso a todas las partes implicadas en el proceso de manera organizada y controlada.

La implementación de PLM es un reto dado que los sistemas son mucho más extensos que las soluciones CAD y PDM (Gestión de datos de productos) independientes, pues abarcan muchos aspectos del proceso de diseño (Immonen & Saaksvuori, 2005). Por esta razón es necesario crear ambientes de trabajo académicos apoyados en metodologías sistemáticas y sistémicas, mejores prácticas de diseño y manufactura, y sistemas de información que permitan desarrollar productos de una forma eficiente y efectiva. Esta situación ha hecho que las tendencias en investigación se comiencen a dirigir a métodos, técnicas y tecnologías que apoyen el desarrollo de actividades de ingeniería con el fin de permitir a los ingenieros entender todas las actividades para mejorar la colaboración y coordinación en el desarrollo de proyectos (Wognum & Trappey, 2008).

Actualmente la Universidad EAFIT, prevé impactar el currículo de las ingenierías en la universidad al igual que el sector productivo nacional a través de la implementación de herramientas PLM para el desarrollo de proyectos de ingeniería. Por este motivo se propone la utilización de esta estrategia en los cursos de proyecto con el fin de apropiar a los estudiantes de Ingeniería con dichas tecnologías para que posteriormente estén en capacidad de proponer estrategias similares en el medio industrial Colombiano una vez insertados en el sector laboral. Para ello su desarrollo se comienza con la identificación y formalización de procesos y la definición de flujos de trabajo para las cuales el estudiante identifica las diferentes fases del proceso de diseño, las herramientas necesarias, la metodología, los entregables y el recurso humano necesario para la realización del proyecto.

2. METODOLOGÍA ACADÉMICA DE DISEÑO

Con el fin de ofrecer una manera de trabajo sistemática se ha establecido una metodología de diseño que debe ser seguida por los estudiantes. El valor agregado de esta metodología es la combinación multidisciplinaria, la cual se obtiene de la integración del diseño mecánico con las teorías de diseño provenientes del diseño industrial (Ej. estético y ergonomía), del análisis de viabilidad económica proveniente del área de administración y del análisis de la necesidad del campo del Marketing. Adicionalmente, diferentes tecnologías de información y comunicación (TIC) son propuestas e implementadas para facilitar la representación, el análisis, el cálculo, la administración y el

control de la información del producto. La metodología es explicada a través de cuatro etapas principales: Análisis de la necesidad, Diseño conceptual, Diseño detallado y Construcción & pruebas (ver Figura 1).

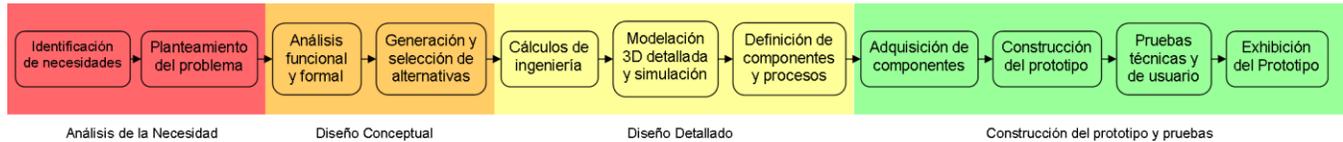


Figura 1: Metodología académica de diseño

2.1 ANÁLISIS DE LA NECESIDAD

Se comienza con la identificación de necesidades latentes relacionadas con el tema específico del proyecto, a través de técnicas como *focus group*, entrevistas u observación directa. Cada grupo de trabajo debe buscar una empresa local interesada en el desarrollo del producto y debe interactuar con ella a través de las herramientas de gestión puestas a disposición por la Universidad. Las necesidades identificadas deberán ser evaluadas de acuerdo con aspectos técnicos, de mercado y de producto, indicando criterios de evaluación que realmente aporten a una diferenciación y selección de la necesidad más adecuada para el desarrollo de un producto innovador con alto contenido tecnológico, asociado inequívocamente a un usuario y a un contexto determinado.

Identificada la necesidad, el grupo de trabajo debe realizar una síntesis de la información recopilada, a partir de los requerimientos del cliente, de la empresa de soporte y del mismo grupo; además del análisis de benchmarking, normatividad, leyes y regulaciones e información en patentes y catálogos. Este planteamiento se resume en un *Brief* del Proyecto y en las Especificaciones de Diseño del Producto (PDS). El *Brief* está orientado al proyecto y contiene, los antecedentes, la justificación, los objetivos, el alcance, la definición del usuario y del contexto y el cronograma de trabajo. Por su parte, el PDS está orientado al producto y expresa todos los requerimientos en término de especificaciones con una importancia, una unidad de medición, un valor y un origen asociados.

2.2 DISEÑO CONCEPTUAL

Partiendo del planteamiento del problema, el grupo de trabajo se concentra en la realización de un análisis funcional de la necesidad con el objetivo de identificar las sub-funciones que se deben cumplir al interior del sistema y cómo interactúan entre ellas para garantizar el cumplimiento de la función principal. Dicho análisis comprende las actividades planteadas en la metodología de diseño sistemático planteado por Pahl y Beitz, donde se identifican los portadores de función con cada uno de los posibles principios de solución en la matriz morfológica; se seleccionan unas rutas de solución posibles y factibles y posteriormente se realizan diferentes alternativas de solución para el sistema, expresadas manualmente en *sketches* y presentando diferentes configuraciones o arquitecturas. Deben realizarse algunos cálculos preliminares con el objetivo de identificar en forma general las dimensiones y características de los portadores de función que serán utilizados y junto con las especificaciones del PDS se evalúa la idoneidad de las rutas propuestas.

En paralelo al análisis funcional se realiza un análisis formal, propio del diseño industrial, en el cual se identifican las características y atributos que el producto debe expresar al usuario, se definen referentes formales, se realizan mapas perceptuales y se realizan collages y *boards* para una posterior exploración formal que, junto con los resultados del análisis funcional, sustentarán el desarrollo de las diferentes alternativas.

Las alternativas se evalúan a través de criterios diferenciadores y con una escala de valores previamente definida para seleccionar una opción ganadora. En este punto, se realiza una modelación virtual 3D preliminar con el objetivo de realizar una validación meramente visual por parte de los tutores y de la empresa antes de continuar adelante, además de permitir una evaluación preliminar de la viabilidad económica.

2.3 DISEÑO DETALLADO

Esta fase comienza con los cálculos de ingeniería detallados para determinar el funcionamiento del producto. Luego se revisa la arquitectura del producto y los estudiantes proceden a crear un modelo 3D con la ayuda de herramientas CAD. Todos los componentes se modelan detalladamente y se ensamblan bajo un enfoque “*Top-Down Design*”, definiendo claramente el “*Model Tree*” que permite definir la lista de materiales (*Bill of Materials* - BOM). Los subsistemas se evalúan por elementos finitos (*Finite Element Analysis* - FEA) con las herramientas CAE disponibles. Es importante que cada una de las decisiones de diseño que se lleven a cabo, sean justificadas con un análisis numérico y/o experimental. En este punto se obtiene el “*render*” final del producto, se termina y validado el modelo 3D y se realizan los planos (“*blueprints*”) necesarios para la fabricación del producto. Esto incluye los planos de ensamble general, los sub-ensambles y la correspondiente tabla de materiales (BOM).

La planeación de manufactura considera las capacidades de los laboratorios de la Universidad. Los estudiantes plantean una lista de procesos de fabricación para el prototipo y para el producto. Tienen que aclarar cuáles son las consideraciones o las suposiciones consideradas para cada situación. El paso final de esta etapa es el análisis de costos donde se consideran todos los componentes que contribuyen al costo total (materia prima, trabajo, procesos externalizados, etc.) justificando adecuadamente con cotizaciones, facturas, etc.

2.4 CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO Y PRUEBAS

En esta fase, algunos de los componentes más costosos (tales como los motores, baterías y el sistema de control) son proporcionados a los estudiantes por la Universidad. En cuanto a los otros componentes y materiales, los estudiantes buscan patrocinios que a veces proviene en efectivo por parte de empresas o a veces reciben materiales o componentes donados por proveedores locales. Una vez obtenidos los materiales, el grupo comienza la fase de construcción en los diferentes laboratorios de la Universidad. Entre los servicios de laboratorios se encuentran los de Máquinas herramientas, soldadura, mecatrónica, modelos, moldeado, control digital, materiales, prototipaje rápido y espacio físico para el ensamble final. De esta manera los estudiantes pueden construir el prototipo funcional, el cual se construye usando los materiales que aunque, en cierto porcentaje, pueden no ser los propuestos originalmente, son capaces de resistir los esfuerzos mecánicos del uso normal del producto. Junto con el prototipo, los estudiantes deben preparar un plan de pruebas del producto. Es un conjunto de protocolos con los detalles para llevar a cabo las pruebas técnicas y de usuario. Las pruebas técnicas son aquellas cuyo propósito es verificar la operación técnica del producto, así como su funcionamiento bajo condiciones de trabajo reales. Las pruebas de usuario son aquellas cuyo propósito es observar la reacción de los usuarios durante el uso del producto, así como comprobar sus aspectos ergonómicos y estéticos. Los resultados de las pruebas se documentan en un informe técnico que contiene el expediente fotográfico del montaje, los datos recogidos, los resultados obtenidos, el análisis y las conclusiones.

Por último, al final del semestre cada grupo prepara el lanzamiento del producto en una exhibición general de los proyectos de los estudiantes. Se ha probado que este evento atrae industrias e individuos interesados en ideas de nuevos productos. Es una plataforma importante para la innovación local y los estudiantes pueden proponer sus ideas o, en muchos casos, deciden continuar con la creación de empresa alrededor de sus ideas.

3. CASO DE ESTUDIO – PRODUCTOS EN MOVILIDAD ELÉCTRICA

Se presenta un caso exitoso del proceso de diseño para una E-bike desarrollada en conjunto con una empresa local del sector de ensamble de motocicletas y que fue gestionado a través de la herramienta de PLM *Aras Innovator*®. La empresa asociada suministró un motor eléctrico en la rueda de 350W-48V, un controlador electrónico con capacidad de regeneración y cuatro baterías de plomo-ácido de 12V-12Ah, especiales para bicicletas eléctricas. Dichos componentes se consideraron como restricciones para el diseño del producto.

3.1 PROCESO DE DISEÑO

3.1.1 ANÁLISIS DE LA NECESIDAD Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El grupo de estudiantes que participó en el desarrollo de esta E-bike estudió la necesidad de transporte particular unipersonal de usuarios de estratos medio-bajo, trabajadores, de edad media, con recursos económicos limitados y preocupados por el medio ambiente. Con la necesidad de un transporte para la ciudad de Medellín-Colombia, útil en todos los tipos de vías urbanas y con capacidad máxima para una persona mayor y un niño de 10 años.

Para el planteamiento completo del problema se realizaron encuestas y observación directa de la necesidad con el objetivo de identificar los requerimientos y especificaciones del producto, que quedaron planteados en el PDS. Mientras que en el *Brief* de proyecto se definió un alcance de construcción de un prototipo funcional apto para pruebas técnicas y de usuario, con entrega de un reporte completo del proceso de diseño y un período de realización del proyecto de 18 semanas de trabajo.

3.1.2 DISEÑO CONCEPTUAL

El primer paso del diseño conceptual consistió en la elaboración de un diagrama funcional en el cual se identificaron los diferentes grupos funcionales. El grupo mecánico comprende las sub-funciones de soporte, suspensión, transmisión, contención, dirección, propulsión humana y frenado. El grupo eléctrico de potencia comprende el sistema de carga, el almacenamiento de energía eléctrica, la transformación de energía eléctrica en energía mecánica y las funciones eléctricas auxiliares como señalación, encendido, etc. El grupo electrónico y de control comprende las sub-funciones de recepción, análisis y generación de señales.

Luego se realizó la matriz morfológica y se seleccionaron tres rutas posibles con las cuales, junto con el análisis formal, cada integrante del grupo realizó tres alternativas de solución, como las que se observan en la Figura 2.



Figura 2: Alternativas de diseño

Se evaluó cada alternativa según el PDS, se combinaron los puntos fuertes de cada una y se modeló virtualmente un concepto integrador. Dicho concepto plantea el motor eléctrico en la rueda trasera, dos asientos, el conjunto de baterías en la parte inferior de los asientos y el controlador en la parte delantera de la bicicleta, ruedas de 10 pulgadas de diámetro y diversos componentes estándar de bicicletas convencionales.

El nombre dado al producto por el grupo de trabajo de acuerdo con su análisis formal fue “AZURA”.

3.1.3 DISEÑO DETALLADO

Se comenzó con los cálculos de ingeniería. El equipo calculó el torque requerido para mover el vehículo y estimó potencia del motor eléctrico y el conjunto de baterías necesario para satisfacer los requerimientos del PDS. Posteriormente, se realizaron las pruebas en laboratorio para definir experimentalmente la potencia y el torque del motor eléctrico en condiciones reales de carga (Figura 3) y se realizó todo el diagrama de conexiones eléctricas después del análisis del funcionamiento del controlador electrónico suministrado. Se diseñó entonces el sistema

de control y se seleccionaron todos los componentes eléctricos para ser incluidos en las funcionalidades del producto (Ej. luces traseras, direccionales, nivel de la batería, etc.).

Con los resultados se definieron las condiciones esperadas de funcionamiento, se modificó el PDS y se realizó una modelación detallada del producto, teniendo en cuenta todos los componentes estándar y manufacturados y prestando atención al montaje, a la interacción entre componentes y a los diferentes grados de libertad de movimiento a través de un análisis cinemático.

Adicionalmente se llevó a cabo un análisis de simulación mecánica para los diferentes componentes fabricados sometidos a cargas considerables durante su funcionamiento, evaluando el chasis autoportante, la tijera trasera y el elemento estructural de unión entre el chasis y la estructura frontal. Algunas imágenes de la modelación y la simulación se presentan en la Figura 3.



Figura 3: Diseño de detalle.

Se trabajó con un material liviano para el chasis de la bicicleta teniendo en cuenta el peso elevado de las baterías de plomo ácido utilizadas. Se diseñó un chasis autoportante en fibra de vidrio, con refuerzos metálicos, que alberga en su interior el controlador electrónico y las cuatro baterías, para el prototipo funcional; mientras que el material a emplear para el producto en serie corresponde a aluminio 6061. La tijera trasera y el elemento estructural de unión entre el chasis y la estructura frontal fueron diseñados en acero estructural. La suspensión trasera se definió como parte estándar de motocicleta. El sistema de pedaleo es estándar y se montó un sistema de seis cambios mecánicos en la rueda trasera.

Luego, se realizó un análisis de producción con cartas de procesos para los diferentes componentes manufacturados y se definieron las especificaciones de los componentes estándar restantes; para proceder finalmente a un análisis de viabilidad económica que arrojó un costo de producción de vehículo en serie de aproximadamente \$1.200.000 pesos colombianos (aproximadamente US\$600). Además, se realizó el plan de pruebas técnicas y de usuario, de acuerdo con normas técnicas nacionales e internacionales para este tipo de productos, para la validación del prototipo funcional antes de su exhibición final.

3.1.4 CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO Y PRUEBAS

Con los materiales para la construcción a disposición, se procedió a la construcción y ensamble del prototipo final en los laboratorios de la Universidad. Se realizaron moldes en planos seriados para el vaciado en fibra de vidrio del chasis y de la carcasa frontal, se maquinaron y soldaron los componentes estructurales y se utilizó el laboratorio de pintura para dar los acabados finales al prototipo.

Adicionalmente todos los grupos llevaron a cabo las pruebas técnicas y de usuario. Para éste caso las pruebas técnicas fueron dimensionales, de maniobrabilidad y radio de giro, de estabilidad, de aceleración y velocidad máxima, de obstáculos, de frenado en condiciones seco y húmedo y de capacidad de carga, de acuerdo con las

normas internacionales ISO. En cuanto a pruebas de usuario se realizaron encuestas de aceptación y análisis ergonómicos.

Finalmente todos los prototipos fueron expuestos ante la comunidad universitaria y el público en general como estaba estipulado inicialmente. En la Figura 4 se observa el proceso de construcción del prototipo, algunas de las pruebas realizadas y la presentación pública del proyecto.



Figura 4: Construcción del prototipo y pruebas.

Para el proyecto de la E-bike AZURA se cumplieron los objetivos planteados desde el inicio y fue acogido como un producto innovador y con alto potencial de industrialización. Igualmente, fue galardonado en los premios estudiantiles que evalúan los productos realizados en todos los cursos de proyecto del programa académico.

3.2 GESTIÓN DEL PROYECTO CON ENFOQUE PLM

3.2.1 UNA ALTERNATIVA ASEQUIBLE DE SOFTWARE PLM

El PLM más que un sistema es una estrategia de trabajo, cuya implementación implica una apropiada configuración y puesta en marcha de una herramienta de software, que asiste la estrategia. Para este caso de estudio se realizó una evaluación de las aplicaciones PLM disponibles con el fin de encontrar el software que mejor se ajustara a las necesidades particulares de este caso. Para ello se analizaron factores cruciales tales como los costes al ejecutar los sistemas de PLM (Siddiqui et. al., 2004).

Los autores de este artículo han estado trabajando con el software open source *ARAS Innovator®* desde hace más de un año, obteniendo resultados muy positivos, principalmente debido a su aplicabilidad en economías emergentes y PyMEs, las cuales representan un gran porcentaje de nuestros sectores industriales. Esta solución es basada en Web con una arquitectura orientada a servicios (*Service Oriented Application - SOA*) sin grandes costos iniciales de licencia. Gill (Gill, 2010) expresó un factor de ahorro de un promedio del 68% comparado con los esquemas convencionales de licenciamiento PLM, además de aumentos de productividad cuando las empresas con muchos usuarios hacen PLM accesible a múltiples usuarios provenientes de el ciclo de vida del producto, sin importar que tan alejados o infrecuentes son.

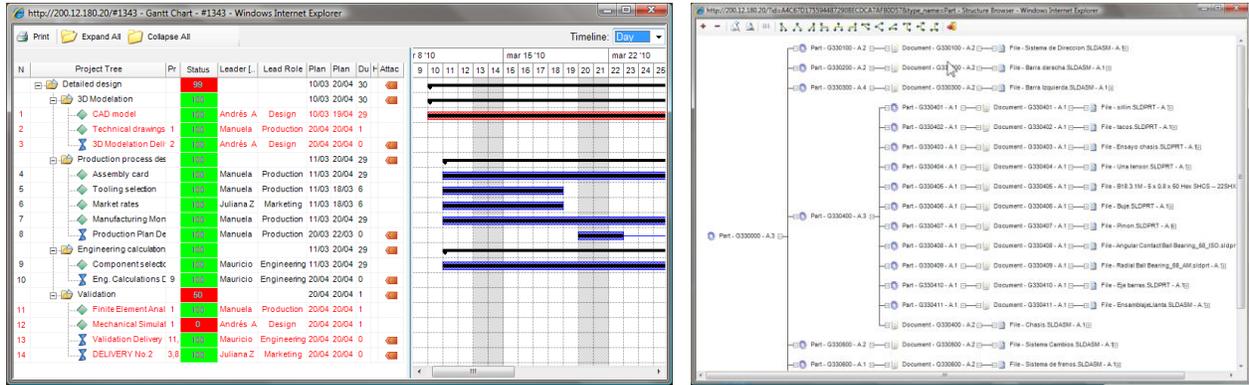
Adicionalmente, se tuvo en cuenta la facilidad de uso, personalización/flexibilidad, requerimientos de usuario y apoyo para equipos distribuidos (*web based*). Su debilidad recae en el hecho de que no hay soporte en Colombia y no tiene ninguna integración o automatización libre con los principales software CAD.

3.2.2 DESARROLLO Y SEGUIMIENTO DEL PROYECTO EN EL SOFTWARE PLM

Cada usuario tiene una cuenta de acceso al servidor *ARAS Innovator®* a través de la cual administra la información del proyecto y le hace seguimiento. El sistema provee una escala de colores que indica el avance del proyecto según el cronograma planteado, con el fin de que los profesores puedan monitorearlo. Dicho cronograma o plan de trabajo fue planteado por el grupo de estudiantes a través de un despliegue de actividades (*Work Breakdown Structure - WBS*) para luego convertirlo en un cronograma de proyecto (diagrama de Gantt)

definiendo además el responsable de cada actividad, las fechas y los archivos a cargar. Dichos planes fueron ejecutados como se puede ver en la Figura 5.

A pesar de no contar con los conectores automáticos al software CAD, el grupo de estudiantes cargó correctamente su modelo CAD con el método manual con todas las relaciones entre los ensambles y las piezas para crear el Bill of Materiales (BOM). Esto se puede detallar en la imagen a la derecha de la Figura 5.



Cronograma del proyecto

Árbol de modelación

Figura 5: Árbol de modelación (BOM) con los archivos CAD cargados y el Structure Browser

Finalmente, toda la información del ciclo de vida del producto quedó almacenada en el servidor, permitiendo que el proyecto sea consultado por los involucrados en el proyecto para que en cualquier momento pueda ser retomado y evitar pérdidas de información y tiempo en la búsqueda de la misma.

En un estudio anterior a la implementación en PLM (Sanin, 2010) se demostró que solamente el 54% de la información del proyecto fue conservada por todos los miembros del grupo de trabajo mientras que el resto de información, como el modelo CAD o fotos del producto, quedó en manos de pocas personas. Para el caso de estudio que se presenta en este artículo, se demostró que el 100% de la información indispensable del proyecto está guardada en el servidor *ARAS Innovator*® en la base de datos asignada a este proyecto.

4. CONCLUSIONES

El desarrollo de proyectos de movilidad eléctrica a nivel académico como medida de acción ante el tema de la movilidad sostenible ha generado una conciencia ambiental en los estudiantes, en la comunidad universitaria, en las empresas involucradas y en entidades del gobierno regional, quienes se han mostrado interesadas y sorprendidas por la calidad de los productos presentados en las exhibiciones finales.

La metodología de diseño planteada para el desarrollo de este tipo de productos se ha demostrado eficaz para guiar a los estudiantes a través de un proceso de diseño exitoso y para facilitar la integración de diferentes áreas de conocimiento.

El uso de herramientas computacionales para la gestión de la información durante el desarrollo del proyecto permite organizar y conservar la información de ingeniería del producto, con el fin de permanecer disponible a los diferentes actores del proceso de diseño. Esto ha permitido una buena sinergia entre el grupo de trabajo, los profesores y los responsables empresas, llevando a la generación de un prototipo funcional de vehículo eléctrico que cumple, desde el punto de vista de ingeniería y de diseño, con los objetivos académicos planteados.

REFERENCIAS

- Andreasen, MM and Hein, L.; "Integrated Product Development". Springer, New York, 1987.
- Boothroyd, Geoffrey; Dewhurst, Peter and Knight, Winston; "Product Design for Manufacture and Assembly". Second Edition; Taylor & Francis Group, CRC Press, 2002. ISBN 978-0-8247-0584-8.
- Gill T.; "Textron and Other Fortune 500 Companies Move to Aras Enterprise Open Source PLM Software". TAG Consulting, vol. {http://www.siemensplmcommunity.com/feature_full.php?cpfeatureid=51458}, pages [Last viewed on: 2010.06.30], 06 2010.
- Giudice, Fabio; La Rosa, Guido and Risitano, Antonino; "Product Design for the Environment – A Life Cycle Approach". Taylor & Francis Group, CRC Press, 2006. ISBN 978-0-8493-2722-3
- Immonen, A. and Saaksvuori, A; "Product Lifecycle Management". Ed. Springer Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-540-25731-8 (Print) 978-3-540-26906-9 (Online). 2005.
- Kurland, R. and Brown, J. "Selección de un sistema PLM para aumentar el rendimiento del desarrollo de productos en las pequeñas y medianas empresas de fabricación" Hojas técnicas creadas por TechniCom y Tech-Clarity. 2008
- Mejía, R. and Molina, A., "Tecnologías de información para ingeniería concurrente" in Ingeniería concurrente: Una metodología integradora. Riba, C. and Molina, A. (Eds.). Ediciones UPC. (2006), pp. 193 - 206.
- Ministerio de Minas y Energía, "Evolución Variables de Generación Septiembre 2010". Informe de Unidad de Planeación Minero Energética, Colombia, 2010.
- Pahl, G. and Beitz, W.; "Engineering design: a systematic approach". Springer-Verlag, 1995.
- Priest, J.; Engineering Design for Producibility and Reliability. Marcel Dekker, 1988.
- Pugh, S.; Total Design. Addison Wesley, 1991.
- Sanin, P. "A PLM Implementation in a Design Project Course of Product Design Engineering Program," Product Design Engineering Final Project, Universidad EAFIT, Medellin, Colombia, 2010.
- Siddiqui Q., Burns N. and Backhouse C.; "Implementing product data management the first time". International Journal of Computer Integrated Manufacturing, vol. 17(6), pages 520-533, 2004.
- Stark, J; "Product Lifecycle Management: 21st Century Paradigm for Product Realisation". Ed. Springer London. ISBN 978-1-85233-810-7 (Print) 978-1-84628-067-2 (Online). 2006
- Tipnis, V.A., 1999, "Evolving Issues in Product Life Cycle Design: Design for Sustainability", Chapter 13, in Handbook of Life Cycle Engineering: Concepts, models and technologies, Edited by A. Molina, A. Kusiak and J. Sanchez, London, Kluwer Academic Publishers, 1999, pp. 399 - 412.
- Ullman, D.G.; "The Mechanical Design Process". McGraw-Hill, New York, 1997.
- Ulrich, K. and Eppinger, D.; "Product design and development". McGraw-Hill/Irwin, 2000.
- Wognum, N. and Trappey, A. "PLM challenges" Advanced Engineering Informatics 22 (2008) 419–420

Autorización y Renuncia

Los autores autorizan a LACCEI para publicar el escrito en las memorias de la conferencia. LACCEI o los editores no son responsables ni por el contenido ni por las implicaciones de lo que está expresado en el escrito.