

Enfoque de industrialización de proyectos académicos – Un caso aplicado en movilidad eléctrica

Camilo Parra-Palacio

EAFIT, Medellín, Antioquia, Colombia, cparrapa@eafit.edu.co

Gilberto Osorio-Gómez

EAFIT, Medellín, Antioquia, Colombia, gosoriog@eafit.edu.co

Ricardo Mejía-Gutiérrez

EAFIT, Medellín, Antioquia, Colombia, rmejiag@eafit.edu.co

RESUMEN

La Universidad EAFIT dentro de su programa de pregrado en Ingeniería de Diseño de Producto aborda proyectos semestrales desde diferentes enfoques de formación. Uno de ellos es el enfoque profesional, el cual se presenta en los tres últimos cursos del pensum académico, y comprende las diferentes etapas del ciclo de vida de producto con el objetivo de entrenar a sus estudiantes de una manera integral, conservando siempre las bases de ingeniería, diseño y mercado. Sin embargo, todos los proyectos finalizan en el estado de prototipo físico funcional sin lograr trascender a proyectos de mayor escala a nivel industrial. De esta forma, un enfoque orientado a la industrialización de dichos proyectos ha sido adoptado en el curso denominado "proyecto final", el cual es requisito para la obtención del título profesional. En este documento, dicho enfoque se formaliza a través de un caso aplicado al proceso para la industrialización de un vehículo eléctrico unipersonal urbano para un segmento de usuarios que requieren desplazarse en espacios cerrados, que cuenten con largas distancias difíciles de recorrer caminando, a bajas velocidades y que a la vez desean divertirse y disfrutar de la experiencia de conducción.

Palabras claves: Industrialización, proyecto académico, ingeniería de diseño, vehículo eléctrico

1. INTRODUCCIÓN

La Universidad EAFIT dentro de su programa de pregrado en Ingeniería de Diseño de Producto incluye cursos semestrales en los cuales se abordan proyectos desde diferentes enfoques de formación. Uno de ellos es el enfoque profesional, el cual se presenta en los tres últimos cursos del pensum académico, y comprende las diferentes etapas del ciclo de vida de producto con el objetivo de entrenar a sus estudiantes de una manera integral, conservando siempre las bases de ingeniería (viabilidad técnica), diseño (lenguaje de producto) y mercado (viabilidad económica). Sin embargo, todos los proyectos finalizan en el estado de prototipo físico funcional y, a pesar de tratarse de buenas y prometedoras ideas, no trascienden a proyectos de mayor escala a nivel industrial. De esta forma, un enfoque orientado a la industrialización de dichos proyectos ha sido adoptado en el curso denominado "proyecto final", el cual es requisito para la obtención del título profesional. El desarrollo del curso considera la inclusión de una empresa del medio que esté interesada en el desarrollo del prototipo y que pone a disposición su

conocimiento y capacidad técnica, o se promueve el ámbito empresarial. De igual forma se hace énfasis en las capacidades de manufactura y ensamble, en la selección de materiales comerciales, en la identificación de proveedores, simulaciones mecánicas detalladas, en las etapas finales del ciclo de vida, etc. En este documento, dicho enfoque se formaliza a través de un caso aplicado al proceso para la industrialización de un vehículo eléctrico ya que una de las líneas de investigación de los autores considera el tema de la movilidad sostenible utilizando energías renovables e implementando tecnología de vanguardia, con el objetivo de garantizar la innovación en los productos.

El concepto *transporte y movilidad* se usa para designar el proceso, los medios y los sistemas mediante los cuales, unos objetos dotados de significado social, son trasladados a través del espacio y el tiempo. El transporte implica el movimiento de esos objetos hasta una nueva localización, con ayuda de algún mecanismo consumidor de energía y a través de un medio ambiente, teniendo consecuencias físicas y sociales que pueden ser intencionadas o no (Max-Neef, 1992).

Todo el documento presenta el enfoque de industrialización a través del desarrollo del vehículo eléctrico unipersonal urbano, llamado L3, para un segmento de usuarios que requieren desplazarse en espacios cerrados, que cuenten con largas distancias difíciles de recorrer caminando, a bajas velocidades y que a la vez desean divertirse y disfrutar de la experiencia de conducción. Además, el vehículo puede ser utilizado en el sector industrial y empresarial para transitar en recintos cerrados. Gracias a su motor eléctrico de 500 W, integrado en la rueda delantera, se tiene un manejo confiable para las diferentes adversidades de terreno e inclinación que se le presenten. Su beneficio económico es más que notable, ya que puede recargarse con la red eléctrica domiciliaria. Su dirección es accionada por la inclinación lateral del usuario, otorgando una intuitiva y gran maniobrabilidad, y gracias a su radio de giro de tan sólo 1 m puede girar en cualquier lugar.

2. ANTECEDENTES

El proyecto L3 nació en el año 2010, en la materia *Proyecto* de séptimo semestre, en Ingeniería de Diseño de Producto de la Universidad EAFIT de Medellín-Colombia, por un equipo de 5 estudiantes y 3 profesores asesores, bajo el nombre de “ZigZag”. Desde ese momento se percibió importancia de desarrollar un vehículo para una persona, compacto, ágil y seguro debido a la falta de espacio en las ciudades del mundo.

En el 2011 un equipo de 4 estudiantes y 3 profesores asesores construyó el primer prototipo completamente funcional para la materia *Proyecto* de octavo semestre, al cual se le realizaron diversas pruebas técnicas y de manejo (ver Figura 1).

Este prototipo generó el interés del Departamento de Diseño y Desarrollo de una empresa local de motocicletas, lo que ha permitido la continuación de su desarrollo industrial durante el año 2012, gracias al trabajo colaborativo entre un estudiante, 2 profesores de la Universidad y 2 ingenieros de la empresa local.



Figura 1: Prototipo L3 año 2011.

3. METODOLOGÍA DE DISEÑO:

La metodología de diseño académica utilizada para el desarrollo del prototipo inicial puede observarse en, la cual es una adaptación de diferentes metodologías conocidas de diseño (Ulrich, 2011) de acuerdo con los objetivos pedagógicos y la capacidad del entorno académico. Teniendo en cuenta el enfoque de industrialización se plantea una nueva fase en la metodología académica (ver Figura 2), la cual retoma la información de los proyectos previos, identifica los principales actores industriales (socios y proveedores), analiza el mercado y los productos existentes de forma más realista, plantea mejoras funcionales y formales a los diseños previos y toma los parámetros reales del proceso de diseño a través de simulaciones detalladas con materiales y procesos disponibles en el medio industrial.



Figura 2: Metodología académica de diseño (adaptada de Mejía-Gutiérrez and Osorio-Gómez (2012))

3.1 ESTADO ACTUAL DEL PROYECTO

A partir del diseño conceptual en el año 2010, L3 ha tenido una evolución clara en aspectos de diseño, ingeniería, manufactura y mercadeo. Su diseño siempre ha conservado una arquitectura base de triciclo donde la llanta de tracción tiene una razón de tamaño de mínimo 3:2 con las llantas restantes dedicadas a la dirección, teniendo como objetivo generar la emoción nostálgica de las primeras bicicletas.

En términos de estructura, estabilidad y dirección, el motor eléctrico y las baterías siempre han sido aspectos críticos que han moldeado la forma y características técnicas del producto. Como en el caso del

Motor Hub, el cual en el 2010 fue de 350W, luego de 1000W y para el 2012 se usó uno de 500W de potencia eléctrica. La toma conjunta de estas decisiones en cuanto a aspectos de peso, eficiencia y velocidad más los resultados de las pruebas de las pruebas experimentales permitieron afinar el proyecto cada vez más

El centro de gravedad (Cg) y el tipo de baterías seleccionadas cambiaron la forma general y del chasis de L3. Debido a que en el primer prototipo su Cg estuvo posicionado hacia las llantas traseras, se presentaron falta de agarre en la llanta de tracción y esfuerzos de más de 300MPa en el sistema de dirección, lo que para el nuevo concepto fue un elemento de rediseño. Análogamente las capacidades de manufactura y ensamble de la industria condicionaron las posibilidades de la mecánica.

En términos de mercado el enunciado fue el siguiente: Proyecto de vehículo para la movilidad unipersonal eléctrica, inicialmente para las calles de Medellín y espacios con necesidad de un transporte terrestre fácil y compacto. Dada la ubicación geográfica y de acuerdo con los cálculos de potencia, la tecnología disponible en el comercio a precios asequibles aún no permite tener un vehículo compacto para la ciudad de Medellín. Además, no tendría la capacidad para subir pendientes de hasta 30° que se aprecian en la zona Metropolitana.

3.2 ESTADO DEL ARTE

Desde el año 2010 las tendencias en diseño de vehículos eléctricos son muy marcadas, pero a la vez se pueden esperar sorpresas. Es impresionante la cantidad de diseños y diseñadores involucrados en el tema alrededor del mundo, tanto de manera conceptual como real en la realización de prototipos con funciones muy interesantes.

En el tema de vehículos unipersonales hay mucha variedad y la mayoría son herederos de bicicletas pero aun así todos difieren en aplicaciones, modo de uso y tecnologías. Se tomó como referencia para un estudio del estado del arte a profundidad el producto “*Easy Glider*”, un vehículo unipersonal innovador por su portabilidad y simpleza en el diseño.(Easy glider, 2010), Otros prototipos científicos (V. Cossalter, 2009), como el desarrollado desde el 2000 por el grupo de investigación y desarrollo en dinámica de motocicletas de la Universidad de Padova en Italia , destacan el potencial de los vehículos eléctricos, combinados con las ventajas técnicas de la configuración de tres ruedas y dirección por inclinación (B. Drew,2004) (M. Bertoluzzo, 2008), sin embargo, la motocicleta “*e-snake*” que presenta éstas características emplea tracción trasera.

Este estudio permite tener una vista general de los costos y de la tecnología de los vehículos eléctricos comerciales para realizar una diferenciación y poder superar o igualar en especificaciones a los competidores.

3.3 DESARROLLO CONCEPTUAL

Cualquier producto debe tener un factor diferenciador que parte desde lo formal cuando se trata de una primera impresión. Por lo tanto, L3 es un vehículo eléctrico cuyos atributos son: alta tecnología, ágil, estable, compacto y seguro; todo esto para introducir elementos que combinados le permiten ser innovador. Se realizó una exploración de nuevos conceptos, la cual se compartió con el grupo de trabajo de la academia y la industria con el objetivo de presentar una nueva imagen más profesional y con una mayor percepción de robustez, confiabilidad y respaldo (ver Figura 3).

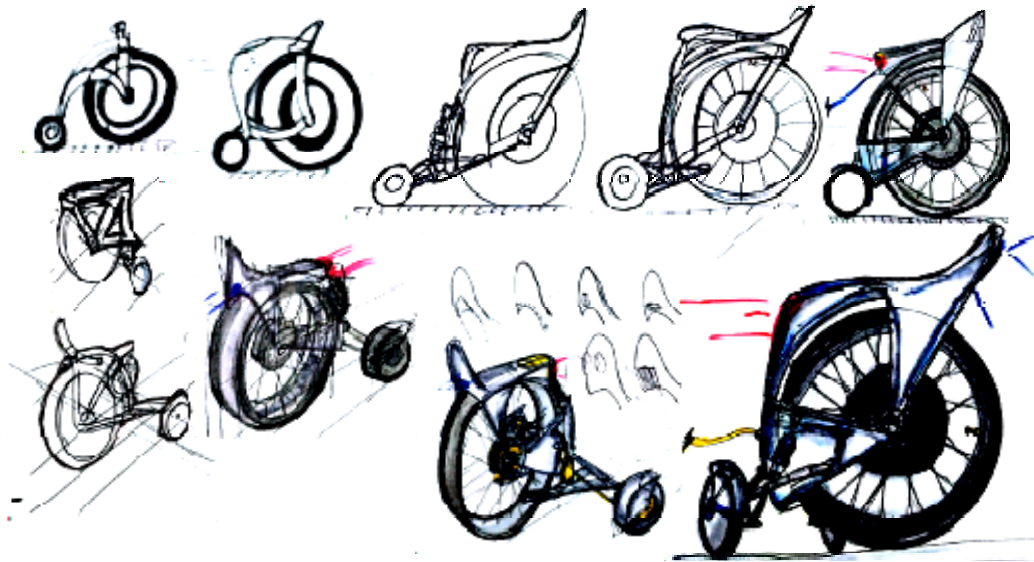


Figura 3: Refinamiento de la idea.

Alta tecnología se refiere a cualquier sistema, sea un producto o una construcción arquitectónica, de vanguardia en tecnología, donde las formas, son muy estructurales y permiten ver dentro del producto su funcionamiento; como los motores, perfilaría tubular entrecruzada tornillería expuesta, cables, circuitos, junto con colores fríos (azul, verde, morado) y texturas metálicas brillantes. Si bien científicamente los vehículos eléctricos no son lo último en tecnología, para el mercado son visiblemente agradables al diseñarse con una estética futurista. (Krause, 2004)

3.4 ARQUITECTURA DE PRODUCTO

En el diseño de L3 fue importante realizar un nuevo estudio de arquitecturas ya que permitió apreciar diferentes configuraciones de manejo y posición de componentes importantes como las baterías y el chasis, para hacer una depuración de las ideas y seleccionar la más indicada (ver Figura 4).

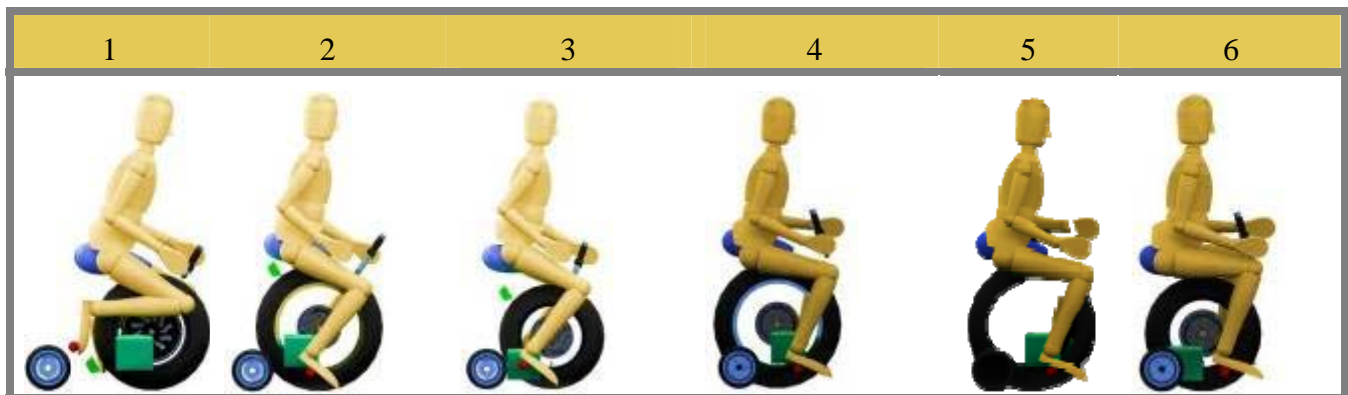


Figura 4: Arquitecturas de manejo (Modulo de 1,73m de alto Percentil 50 Americano)

La **propuesta 2** se seleccionó por comodidad para el usuario y por la proporción de las llantas que conservan el diseño original del prototipo realizado en el año 2011.

3.5 CONCEPTO FINAL

Finalmente, afinando más la propuesta inicial y aumentando los detalles se llegó al siguiente concepto:



"Recorriendo y cuidando el mundo"

Triciclo unipersonal eléctrico urbano, diseñado para el sector turístico con el objetivo de movilizarse en espacios cerrados; con largas distancias difíciles de recorrer caminando. Además puede ser utilizado en el sector industrial.



*Las especificaciones aquí descritas pueden variar sin previo aviso.

Figura 5: Poster del concepto final.

3.5.1 CÁLCULOS DE INGENIERÍA.

Teniendo una mayor información de las formas posibles para una manufactura y ensamble de carácter industrial, se realizaron nuevos cálculos para el refinamiento del diseño de la dirección por inclinación (T. Gillespie,1992) lateral del usuario a una velocidad aproximada de 8 km/h, con un radio de giro aproximado de 1 m (ver Figura 6). En este punto se tuvieron en cuenta diferentes configuraciones de camber, caster & toe, que en los diseños anteriores no se habían tenido en consideración.

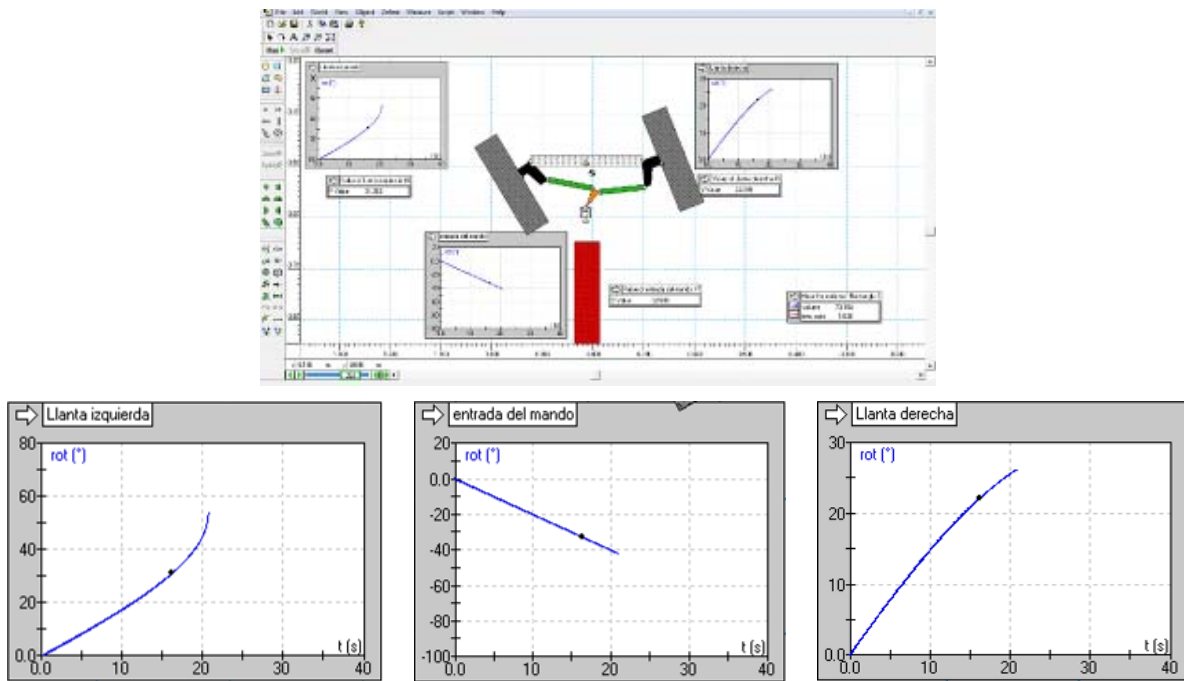


Figura 6: Simulación de los ángulos de dirección.

3.5.2 SIMULACIONES VIRTUALES

Para evitar daños estructurales se realizaron una serie de pruebas digitales de modelos virtuales para verificar la resistencia estática del chasis, los tacos de apoyo para los pies del usuario y el perfil de la dirección. Elementos que por experiencia de los asesores se solicitó revisión por medio de análisis de elementos finitos (FEA) como puede verse en la Figura 7.

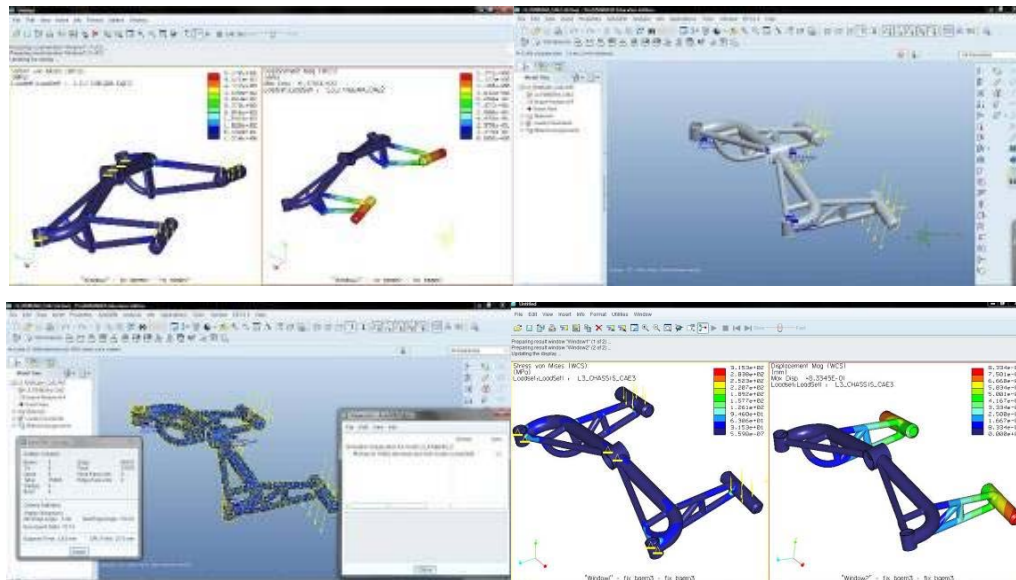


Figura 7: Análisis y resultados de elementos finitos para los tacos.

Los tacos de apoyo, se presentaron de manera especial como una parte crítica de la estructura del producto considerando que el usuario podía llegar a aplicar todo su peso directamente sobre ellos al

momento de subir y bajar del vehículo, generando esfuerzos que superaban el límite de fluencia del material (Ashby,2003). Esta situación llevó al rediseño del elemento hasta que se obtuvo un factor de seguridad de 1.3.

Luego de un proceso iterativo de evaluación para los componentes mecánicos críticos (Chasis, tacos y bloque de dirección) se lograron mejorar para cumplir con los requerimientos y ahorrar peso y costo.

3.5.3 PLANOS DE TALLER Y ENSAMBLE

Principalmente el chasis constituye la mayor parte de la planimetría de L3. Este se constituyó en uno de los aspectos más críticos del proceso de aprendizaje ya que en los proyectos académicos son los mismos estudiantes quienes construyen los prototipos funcionales y no son estrictos en el uso y lectura de planos de manufactura y ensamble. Mientras que con el nuevo enfoque de industrialización, los planos se conforman en el lenguaje de comunicación con la mayoría de actores del sistema desde el punto de vista de la ingeniería. En la Figura 8 se puede observar uno de los planos de un sub-ensamble del chasis, el cual fue uno de los primeros componentes que se cotizó y presupuestó con proveedores externos.

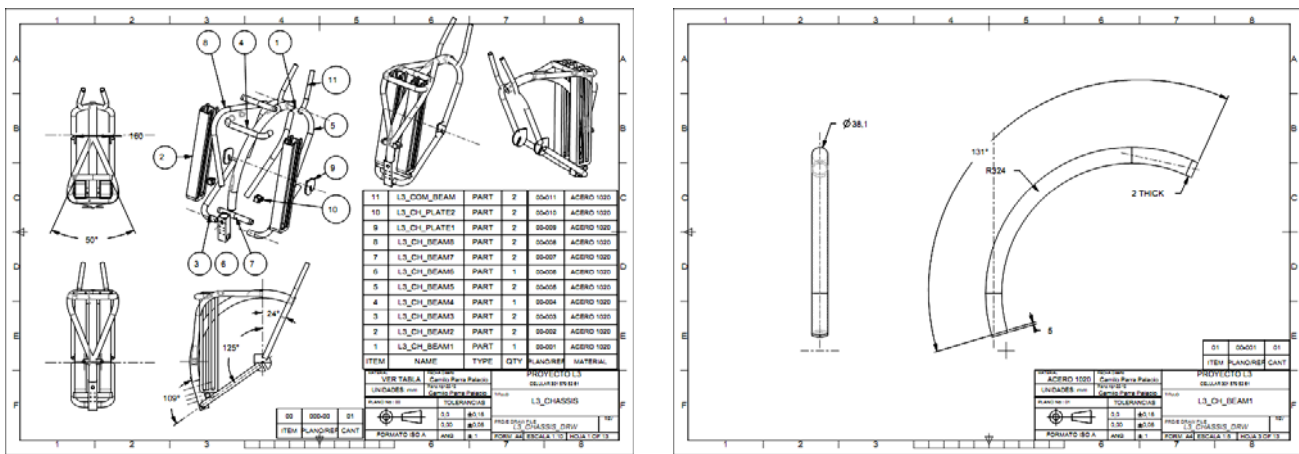


Figura 8: Plano sub-ensamble Chasis y Perfil del chasis principal.

3.5.4 ELECTRÓNICA

La tecnología para los vehículos eléctricos avanza rápidamente y desde el 2010 se observó la facilidad de incorporar el motor con el controlador, las baterías y los accesorios paralelos, como luces e indicadores, sin necesidad de soldar o conocer profundamente la ciencia detrás de un controlador o sensores de efecto hall. Simplemente con saber las conexiones existentes de los diferentes módulos se pone en funcionamiento la función principal del vehículo. En la Figura 9 se observa un esquema general de la conexión eléctrica de L3.

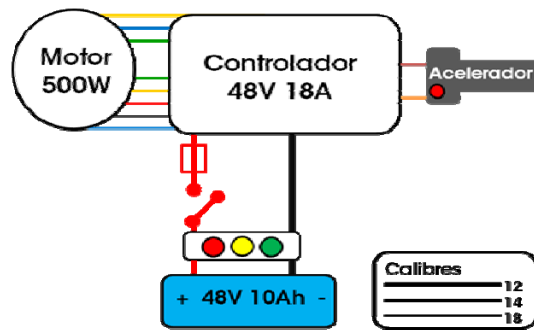


Figura 9: Diagrama del cableado para los componentes principales.

El Indicador de batería se ilustra cognitivamente con 3 colores indicando el estado del voltaje y cuando se deberían cargar las baterías. Adicionalmente el usuario necesita saber o tener noción de que tan rápido va, de manera que la incorporación de un tacómetro es necesaria.

Finalmente, todos los aspectos técnicos del producto, la lista de materiales y componentes comerciales, todas las cartas de proceso con los parámetros de manufactura y ensamble, los planos detallados y el resto de información necesaria para la construcción del vehículo por terceros, fue entregada a la empresa de motos que apoyó el proyecto y se espera que a nivel interno se evalúe la viabilidad técnica y económica del producto para que en un futuro no muy lejano sea posible ver a L3 circulando en las diferentes ciudades del mundo.

4. CONCLUSIONES

El ejercicio de llevar la formación a lo largo de las diferentes etapas del ciclo de vida del producto dentro del programa académico, se ha evidenciado como una herramienta que tiene impactos positivos sobre la motivación del estudiante para el desarrollo de grandes proyectos, sobre la interacción de la Universidad con las empresas, sobre la generación de nuevo conocimiento y experiencias desde la educación en ingeniería y diseño, y sobre la mentalidad de los estudiantes que confían en sus capacidades y toman en cuenta las posibilidades de generar empresa y marcar pautas en el tema de la innovación en producto.

El proceso de diseño de vehículos unipersonales eléctricos es iterativo y jamás se llega a un veredicto final, sino que por el contrario se debe estar en constante retroalimentación y mejora sin importar la etapa del proceso de diseño en que se esté.

La metodología es sumamente importante para el desarrollo de un proyecto ya que se consolida como una base sistemática para la realización de actividades, aunque si ésta no garantiza el éxito de un producto si ratifica su calidad profesional.

L3 dado su gran recorrido desde el 2010 es un concepto interesante que sin duda seguirá siendo desarrollado y se construirán nuevos prototipos, más robustos, confiables y más eficientes desde el punto de vista de la producción, con base en esta ardua investigación y conceptualización para ser visible y tangible.

Los cálculos de ingeniería y las simulaciones permiten ahorrar costos y tiempos de desarrollo a la vez que se maneja un informe de la trazabilidad y evolución de los diferentes componentes.

El trabajo en conjunto con empresa privada y profesores asesores permite ver más claramente inconvenientes de manera ágil y segura, que para el diseñador pueden no ser visibles o evidentes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Max-Neef, M. A. (1992). En M. A. Max-Neef, *From the Outside Looking In: Experiences in Barefoot Economics*.
- Ulrich, K. T., Eppinger, S. D., & Goyal, A. (2011). *Product design and development*. Irwin/McGraw Hill.
- Mejía-Gutiérrez, R. and G. Osorio-Gómez (2011). “Complejidad, Sostenibilidad y Tecnología: Un enfoque integrador para el desarrollo de proyectos académicos en ingeniería de diseño”. *Proceedings of Ninth LACCEI Latin American and Caribbean Conference (LACCEI'2011), Engineering for a Smart Planet, Innovation, Information Technology and Computational Tools for Sustainable Development*, Medellín, Colombia.
- Krause, J. (2004). *Design Basics Index*. How.
- Easy glider (2010), *easy-glider.com*. Recuperado el 15 de 3 del 2010, Easy Glider [www. easy-glider.com/products/](http://www.easy-glider.com/products/)
- V. Cossalter, A.Doria, Potentialities of a three-wheeled vehicle for zero emission mobility, EVER MONACO 2009
- B. Drew, M. Barker, J. Darling, K. Edge, H. Johannsen, “Review of tilting three wheeled vehicle chassis”, FISITA 2004 Paper F2004F382.
- M. Bertoluzzo, G. Buja, V. Cossalter, A. Doria, “Development of an easy-to-ride electric 3-wheel vehicle”, FISITA 2008, paper F2008-07-022.
- T. Gillespie, “Fundamentals of Vehicle Dynamics”, SAE, Warrendale, 1992.
- Ashby, M. a. (2002). *Materials and Design*. Swayspace.

Authorization and Disclaimer

Authors authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.