

# METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO INTEGRADOR EN PROGRAMAS DEL ÁREA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

B. Lara Lara<sup>1</sup>  
V. Castro López<sup>2</sup>  
J. E. González Muñoz<sup>3</sup>  
F. Oviedo Tolentino<sup>4</sup>

## RESUMEN

La asignatura de Proyecto Integrador forma parte fundamental del Plan de Estudios de los Programas Académicos del Área Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP). En ésta, los estudiantes forman equipos de diseño de 3 a 5 integrantes para realizar un proyecto en donde aplican los conocimientos que han adquirido en su estancia en el Programa Académico mediante el desarrollo de un prototipo completamente operacional y de aplicación real. En un inicio, la metodología empleada por los docentes no estaba definida de principio a fin. Este trabajo recoge los resultados de investigación de los docentes y la experiencia de 10 semestres de haber implementado la asignatura, y expone la metodología que se imparte para que los estudiantes terminen con éxito su proyecto. A la fecha se han desarrollado 258 proyectos que se clasifican en cuatro categorías: comercial, industrial, didáctico e investigación.

## ANTECEDENTES

En enero de 2014, la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP) dio inicio de manera oficial a la asignatura de Proyecto Integrador, dentro del Mapa Curricular de los Programas Académicos del Área Mecánica y Eléctrica, estos son: Ingeniería Mecánica (IM), Ingeniería Mecánica Administrativa (IMA), Ingeniería Mecánica Eléctrica (IME), Ingeniería Mecatrónica (IMT) e Ingeniería en Electricidad y Automatización (IEA).

La finalidad de la asignatura es que los estudiantes desarrollen y fortalezcan las competencias específicas y transversales declaradas en los Atributos del Egresado de su Programa Académico, mediante la realización de un proyecto tangible, en donde apliquen los conocimientos teóricos y prácticos adquiridos durante el transcurso de su carrera y que, con todo ello, descubran la ingeniería y cómo mediante ésta se construye el mundo que les rodea.

La creación de la asignatura responde a observaciones que externaban los egresados como retroalimentación a los Programas, evaluaciones realizadas por diversas instituciones, y principalmente a organismos acreditadores tales como, el Consejo de Acreditación en la Enseñanza de la Ingeniería (CACEI) y el Accreditation Board for Engineering and Technology (ABET, por sus siglas en inglés). Se identificaba a los egresados como los mejores en conocimientos, pero en cuanto a la aplicación y experiencia tenían desventajas y se pedía una signatura en la que se aplicaran los conocimientos adquiridos. Por lo anterior, con la asignatura se busca reducir la brecha de adaptación del egresado de la institución académica a la vida profesional.

El alcance de la asignatura se estableció tomando como base distintas definiciones de diseño en ingeniería, Por ejemplo, para ABET (2017): El diseño de ingeniería es:

el proceso de diseñar un sistema, componente o proceso para satisfacer las necesidades deseadas. Es un proceso de toma de decisiones (a menudo iterativo), en

el que las ciencias básicas, las matemáticas y las ciencias de la ingeniería se aplican para convertir los recursos de manera óptima para satisfacer las necesidades.

De acuerdo con el CACEI (2018), Diseño en ingeniería es:

la integración de matemáticas, ciencias naturales, ciencias de la ingeniería y estudios complementarios para el desarrollo de elementos, sistemas y procesos para satisfacer necesidades específicas. Este es un proceso creativo, interactivo y abierto, sujeto a las limitaciones que puede regirse por normas o legislación en diversos grados dependiendo de la disciplina. Pueden referirse a factores económicos, de salud, de seguridad, ambientales, sociales u otros aspectos interdisciplinarios.

Por otra parte, para Budynas y Nisbett (2015): diseñar es “formular un plan para satisfacer una necesidad específica o resolver un problema. Si el plan resulta en la creación de algo físicamente real, entonces el producto debe ser funcional, seguro, confiable, competitivo, útil, que pueda fabricarse y comercializarse”.

Tomando en cuenta las definiciones anteriores, se definió el objetivo de la asignatura de Proyecto Integrador IME como: realizar un prototipo completamente operacional y de aplicación real, empleando una metodología de desarrollo de productos, fundamentado en una memoria de cálculo, donde se apliquen los conocimientos y habilidades adquiridas a lo largo de la trayectoria en la carrera de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, para contribuir a los Atributos del Egresado.

De esta manera, con la asignatura se proporciona a los estudiantes una comprensión sobre cómo trabajan los ingenieros para resolver un problema de diseño de ingeniería cumpliendo requisitos de diseño.

## **METODOLOGÍA**

Para desarrollar la asignatura de Proyecto Integrador es conveniente seguir una serie de actividades que inician con la percepción de una oportunidad de comercializar el producto obtenido y terminan con la presentación del prototipo. La secuencia ordenada de actividades se trasmite a los estudiantes por parte del profesor de la asignatura, siempre buscando que el producto se elabore con fundamentos y principios establecidos por la ingeniería. Para asegurar esto último, el alumno es asesorado por un Profesor Investigador, especialista en los temas principales que abarca el proyecto. Las actividades de la asignatura, en lo referente al diseño, se llevan a cabo con la metodología de seis etapas propuesta por Ulrich y Eppinger (2013), en este caso, la última etapa consiste en la presentación del prototipo. Las etapas de la metodología se muestran en la

Figura 1. Los estudiantes deben plasmar en la memoria de cálculo del proyecto los resultados que obtuvieron en cada una de las etapas.



Figura 1. Metodología para el desarrollo de productos.  
Fuente: Ulrich y Eppinger (2013).

Para desarrollar las etapas de la metodología se emplea el enfoque holístico del Desarrollo en Función de la Calidad (QFD, por sus siglas en inglés), propuesta por Burge (2007). El QFD es una herramienta que ayuda a traducir los requisitos del cliente en requisitos técnicos claros y medibles. Se basa en una secuencia de tablas matriciales de cuatro fases, en ellas se capturan y organizan los requisitos del cliente desde una primera fase hasta el control de la calidad del producto en la última fase. El esquema general de las fases se muestra en la Figura 2.

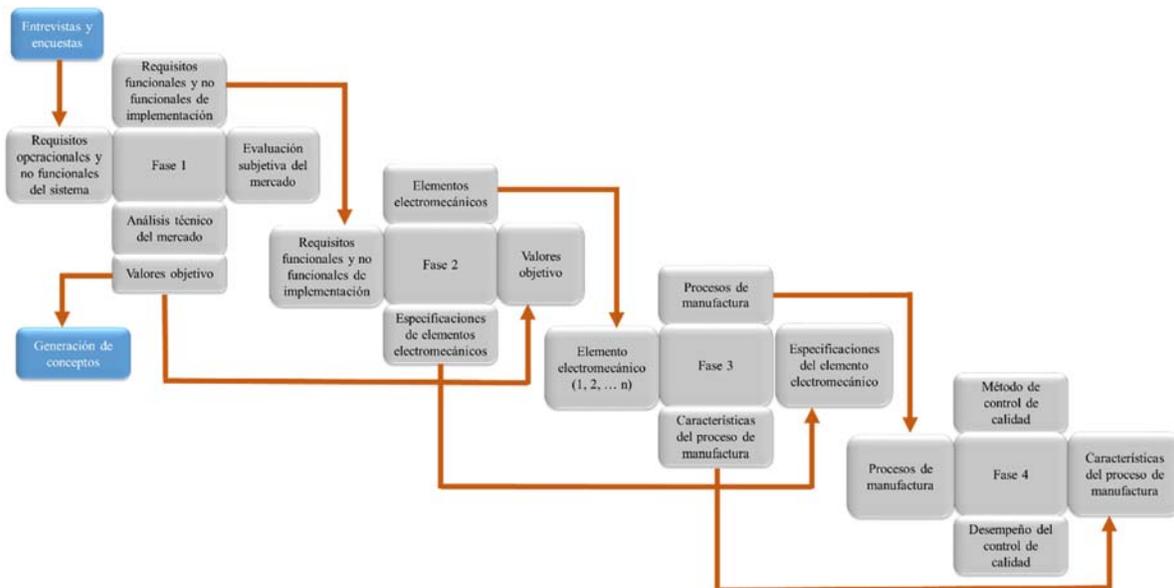


Figura 2. Metodología de Desarrollo en Función de la Calidad.  
Fuente: Burge (2007).

### Planeación

En la etapa de planeación los estudiantes se integran en equipos de diseño. El equipo debe realizar una reflexión sobre la aptitudes y conocimientos de cada uno de ellos, y proponer los

roles que cada uno ocupará (líder, secretario, tesorero o participante). El estudiante tiene la opción de proponer el proyecto o seleccionarlo de una lista de proyectos que ya han sido aprobados. Si se propone el proyecto, éste deberá ser aprobado por el Comité de Evaluación de Proyectos, conformado por los profesores de la asignatura y representantes de los cinco Programas del Área Mecánica Eléctrica. En esta etapa se debe establecer el objetivo del proyecto. El equipo de diseño identifica el tipo de mercado, amplio o estrecho, donde el producto se puede comercializar. También se busca que el proyecto tenga un fin productivo, apoyando a los laboratorios de la Facultad de Ingeniería o resolviendo problemas reales en beneficio de otras instituciones o inclusive de personas físicas. Por último, se debe establecer el impacto social y económico, así como la normatividad con la cual se debe cumplir.

### Desarrollo del concepto

En esta etapa se desarrollan las actividades que se muestran en la

Figura 3. Éstas involucran la identificación del cliente, así como la identificación de sus requisitos. Con los requisitos del cliente se establecen las especificaciones objetivo y para ello, se desarrolla la primera fase de la metodología del QFD. El equipo de diseño clasifica los requisitos de acuerdo con la metodología de Burge (2007) en: operaciones, no funcionales del sistema, funcionales, no funcionales de implementación y no funcionales de desempeño. Si el mercado es amplio es posible que el cliente se enfoque en requisitos operacionales, si el mercado es estrecho es posible que el cliente tenga conocimiento técnico suficiente para proporcionar requisitos no funcionales de desempeño.

Es tarea del equipo de diseño complementar los requisitos otorgados por el cliente y verificar que el conjunto de requisitos operacionales y no funcionales del sistema estén resueltos mediante los requisitos funcionales y no funcionales de implementación. En esta etapa es importante que el equipo de diseño conciba al producto en relación a lo que éste debe hacer antes de determinar su forma física.



Figura 3. Actividades por realizar dentro de la etapa desarrollo del concepto.

Fuente: Ulrich y Eppinger (2013).

El conjunto de requisitos operacionales y no funcionales del sistema son ponderados mediante una comparación entre pares de requisitos. Saaty (1990) propuso la escala de comparación basada en un juicio verbal al comparar dos requisitos y asignar un valor numérico de acuerdo con la escala que se muestra en la Tabla 1. Al relacionar los requisitos funcionales y no funcionales de implementación con los requisitos operacionales y no

funcionales del sistema es posible ponderar los requisitos funcionales y no funcionales de implementación.

**Tabla 1.** *Escala de comparación de requisitos.*

Juicio verbal	Relación de comparación
Extremadamente más importante	9
Muy fuertemente más importante	7
Fuertemente más importante	5
Moderadamente más importante	3
Igualmente, más importante	1

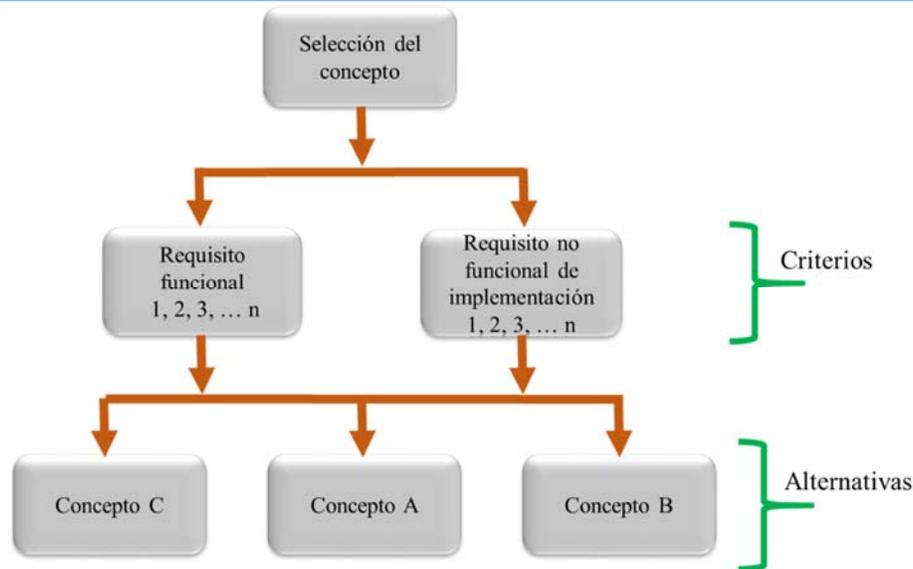
Fuente: Saaty (1990)

En relación al QFD fase 1, en el análisis técnico del mercado, el equipo de diseño realiza un estudio sobre cómo productos similares cumplen con los requisitos funcionales y no funcionales de implementación. Con la realización de este análisis, el equipo establece los requisitos no funcionales de desempeño; es decir, los valores objetivo de la función o las especificaciones objetivo con las que generará los conceptos de producto que al desarrollarlo le permitirá competir en el mercado.

Una vez establecidos los valores objetivo de la función, el equipo de diseño se dedica a explorar el universo de alternativas de solución para cumplir con los requisitos funcionales y no funcionales de implementación, estas alternativas de solución corresponden al equipo electromecánico que formará parte de la construcción del prototipo. Con el universo de alternativas de solución, el equipo de diseño forma al menos tres conceptos y selecciona el que cumple mejor con los requisitos funcionales y no funcionales de implementación mediante la aplicación del proceso analítico de jerarquías propuesto por Saaty (1990) y retomado por autores como Mu y Pereyra-Rojas (2017). El esquema de selección del concepto se representa en la

Figura 4, como criterios se utilizan los requisitos funcionales y no funcionales de implementación, ambos ponderados y como alternativas los conceptos de producto.

Una vez seleccionado el concepto se realiza el QFD fase 2. En esta fase se detallan los componentes electromecánicos que solucionan los requisitos funcionales y no funcionales de implementación, al tener estos requisitos ponderados es posible identificar el componente electromecánico que más influye en el producto. Los componentes electromecánicos se agrupan por subsistemas para desarrollar las siguientes etapas de la metodología. El concepto seleccionado es probado a manera preliminar utilizando herramientas computacionales, principalmente simulando ensambles, antes de la etapa de diseño a detalle. Posterior a la prueba del concepto se establecen las especificaciones finales. Éstas tienen que ser cuidadosamente establecidas, pues en caso contrario, se perderá el objetivo y rumbo del proyecto, Burge (2007) establece que éstas constan de una función + atributo o propiedad + valor objetivo.



*Figura 4.* Esquema para la selección del concepto.  
Fuente: Mu y Pereyra (2017).

La etapa del desarrollo del concepto culmina con el análisis económico, atendiendo a la definición de diseño de Budynas y Nisbett (2008), donde se indica que “el producto resultado de las actividades de diseño debe comercializarse”. En esta actividad, el equipo de diseño debe realizar un análisis de costos para estimar el precio de venta del desarrollo tecnológico, para ello, debe estimar el número de horas de actividad inventiva que se requieren para culminar con el proyecto y proponer un costo por hora de trabajo.

El equipo de diseño debe plantear dos posibles escenarios: el primero relacionado con la venta del desarrollo tecnológico donde se debe recuperar lo invertido en horas de trabajo en actividad inventiva, y el segundo relacionado con la explotación del desarrollo tecnológico por parte del equipo. El análisis de los costos directos variables, costos directos fijos, costos indirectos, valor presente neto y tasa interna de retorno es fundamental.

### **Diseño a nivel sistema**

La etapa de diseño a nivel sistema incluye la descripción del funcionamiento del prototipo, generalmente mediante diagramas funcionales, de flujo de energía o de transformación de energía. Con ellos se detallan los subsistemas y componentes del prototipo, generalmente estos subsistemas se clasifican como: eléctrico, mecánico, control, térmico y automatización. El resultado de esta etapa comprende un diseño geométrico del producto, una especificación funcional de cada uno de los subsistemas del producto y un diagrama de flujo preliminar del proceso para el ensamble.

### **Diseño a detalle**

La etapa de diseño a detalle se inicia con un diagrama general de flujo de diseño que estructura las actividades principales para desarrollar el prototipo. Al desarrollar cada una de las actividades de diseño es posible que se requiera un nuevo diagrama. El iniciar con un diagrama de flujo de diseño es clave para que el equipo tenga claro el punto de partida para

el diseño a detalle y únicamente realice actividades que influyen en el diseño de su prototipo. El punto de partida de los diagramas de flujo debe coincidir con las especificaciones finales del proyecto, establecidas en la etapa de desarrollo del concepto. Para el desarrollo de maquinaria es común que el punto de partida coincida con la especificación de producción.

En esta etapa se verifica por parte del docente que, al cambiar alguna especificación final del producto, cambien las especificaciones de los componentes electromecánicos, de esta manera es recomendable que el análisis matemático derivado del proyecto lo plasmen en una hoja de cálculo. En la etapa de diseño a detalle se completa el QFD fase 2, en el cual se plasman las características de los elementos electromecánicos, éstas incluyen valores operativos como par, velocidad, temperatura, corriente etc.; así como, la geometría, materiales y tolerancias de las partes del producto.

De los componentes electromecánicos algunos son estándar y se pueden adquirir con proveedores; mientras que, otros deben manufacturarse. Las especificaciones de los componentes electromecánicos que se pueden adquirir con proveedores son aquellas que permiten la selección de ellos en un catálogo. De los componentes a manufacturar el equipo de diseño debe realizar la tercera y cuarta fase del QFD. En la tercera fase se establece el proceso de manufactura, se seleccionan las herramientas y se documentan las características y detalles del proceso necesario para elaborar el producto. El equipo de diseño a partir de la geometría de cada pieza debe establecer los planos para la producción de la pieza. En la cuarta fase se establecen las estrategias para el control de la calidad de las piezas. Al término de la etapa de diseño a detalle se realiza el ensamble del producto.

### **Pruebas y refinamiento**

En la etapa de pruebas y refinamiento se realizan pruebas desde el momento del ensamble del producto para verificar que la construcción preliminar cumpla con los planes para garantizar la viabilidad o para confirmar que el sistema se comporta de manera planeada. Las pruebas se pueden realizar con materiales que tiene la misma geometría que el material a usar, pero diferentes propiedades. Generalmente, éstas se realizan para determinar si el producto funcionará como está diseñado y si el producto satisface las necesidades del cliente. Una vez que se tiene el prototipo se realizan pruebas para verificar que cumpla con las especificaciones finales definidas en la etapa de desarrollo del concepto.

### **Presentación de prototipo**

En esta etapa el equipo debe demostrar el funcionamiento del prototipo operando a plena carga, con la finalidad de verificar que cumple con las especificaciones finales definidas en la etapa de desarrollo del concepto. Se deben realizar mediciones de la potencia demandada, consumo de energía y eficiencia para corroborar los cálculos que se realizaron en la etapa de diseño a detalle. El equipo de diseño también debe mostrar una actualización sobre el análisis económico, principalmente de la tasa interna de retorno para el cliente que compra el desarrollo tecnológico y para el cliente que compra el producto y sobre el escenario en el cual se produce la tasa interna de retorno.

### **Implementación de la metodología**

La parte más interesante y que demanda mayor trabajo y esmero es, sin duda, la implementación de la metodología, ya que se debe tener la precaución de cómo hay que

impartirla. Las personas involucradas en la implementación de la metodología son: el profesor de la asignatura y el asesor.

El profesor de la asignatura es el responsable de la implementación de la metodología, transmitir información, vigilar que se cumpla con los reglamentos, revisar los avances, supervisar y cuidar la calidad del proyecto, y lo más importante evaluar la parte académica de la asignatura. Es el responsable de establecer en el alumno una forma de pensar en lo funcional del proyecto en lugar de la forma física del producto.

El asesor es el profesor que el equipo escoge para que les instruya en la parte de diseño a detalle, en establecer los diagramas de flujo de diseño y darles seguimiento hasta las pruebas del prototipo final; además, les apoya en la revisión de los reportes, presentaciones y manuales que forman parte del proyecto.

En la cuarta semana del semestre, los estudiantes realizan una presentación plenaria de su anteproyecto, que prácticamente abarca las primeras tres primeras etapas de la metodología, y en la semana once un avance. En estas presentaciones un grupo de evaluadores califican la parte técnica, profesional y complementaria de la presentación mediante rúbricas de evaluación. Para el examen final se forma una terna integrada por el profesor, el asesor y un sinodal asignado por las autoridades del Programa, ellos califican el prototipo, el reporte final, el manual de instalación, operación y mantenimiento, y la presentación final del proyecto que hacen los alumnos.

## RESULTADOS

En la

Figura 5 se muestra la relación de proyectos realizados por los 5 Programas del Área Mecánica Eléctrica en 5 años. En total se han realizado 258 proyectos con un promedio de 25.8 por semestre. Los proyectos realizados por Programa Académico son: los alumnos en Ingeniería Mecánica han realizado 31 proyectos; en Mecánica Administrativa, 75; en Mecánica Eléctrica, 65; en Mecatrónica, 56; y en Electricidad y Automatización, 31. Cabe hacer mención que alumnos de un Programa en particular pueden cursar la asignatura en un Programa distinto. Los proyectos son propuestos por alumnos, profesores y por el sector social, industrial o de servicios. Actualmente se tiene un catálogo de 182 proyectos de donde los alumnos pueden seleccionar el proyecto a realizar.

Al término del análisis económico que se realiza en la etapa del desarrollo del concepto, el equipo tiene dos opciones para financiar el proyecto: la primera consiste en que ellos financien el proyecto, esto se produce cuando tiene un cliente que les comprará el prototipo y la segunda consiste en utilizar apoyo económico que la Facultad de Ingeniería programa en su programa operativo anual para el apoyo a proyectos integradores, en los últimos 3 años la Facultad ha gastado 71 651.93 pesos en promedio por semestre. Cuando el proyecto es financiado por la Facultad, el equipo debe entregar el prototipo que elaboró a la Facultad.

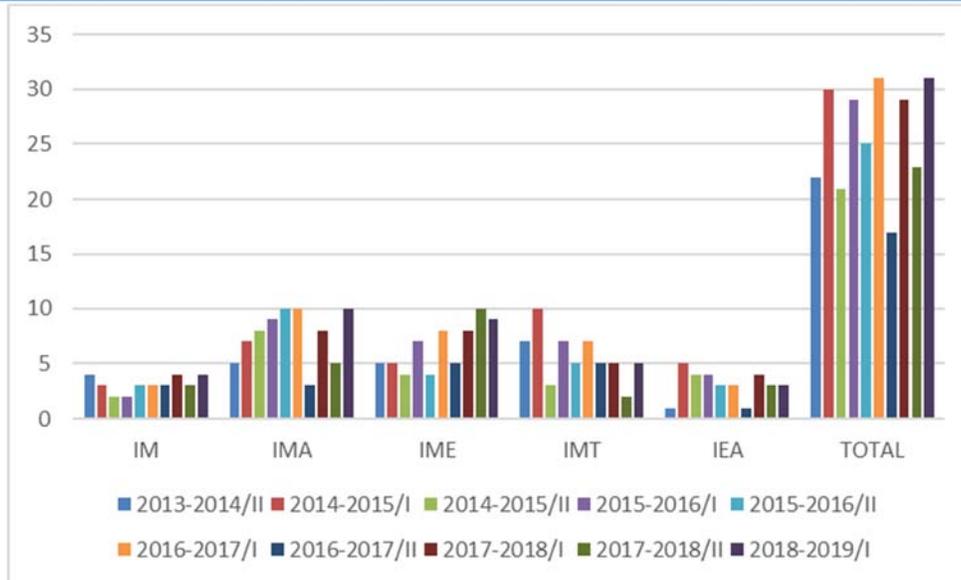


Figura 5. Número de proyectos realizados en los 10 semestres de haberse implementado la asignatura de Proyecto Integrador por programa educativo del Área Mecánica Eléctrica.

En la

Figura 6 se muestran los proyectos clasificados, 164 (63.57 %) corresponden a la categoría de comerciales, 66 (25.58 %) en didácticos, 27 (10.47 %) en industriales y 1 (0.39 %) en investigación. Esta clasificación surge por las características y enfoque del proyecto.

En la presentación del prototipo se exponen todos los proyectos realizados en los 5 Programas del Área Mecánica Eléctrica y por cada categoría se premia a los tres mejores. Los jueces que evalúan los proyectos son personas del sector social, industrial y de servicios, generalmente, no docentes de la Facultad de Ingeniería. Del total de proyectos, 58 se han donado a los laboratorios de la Facultad de Ingeniería, 2 al sector de gobierno, 3 a un Centro de Rehabilitación y Educación Especial, y uno a una Institución de Educación Media Superior.



Figura 6. Clasificación de los proyectos en categoría comercial, didáctico, industrial e investigación.

### CONCLUSIONES:

El realizar proyectos integradores representa una experiencia muy enriquecedora para los estudiantes, ya que los sitúa casi en un ambiente laboral. La retroalimentación sobre la asignatura en el examen profesional en todos los casos es positiva, esto motiva a los docentes y autoridades a buscar alternativas para que estos proyectos no solo sean un camino para acreditar la asignatura, sino que representen una opción laboral para los egresados. La metodología implementada ayuda a que el alumno tenga éxito en la elaboración de su proyecto, y es una herramienta más que tienen los egresados de los Programas del Área Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Además de implementar una metodología existen otras competencias que se trabajan en la asignatura como son: liderazgo, trabajo en equipo, responsabilidad, comunicación, etc., que, si bien no están incluidas en las metodologías mencionadas, sí son parte fundamental del proyecto.

### BIBLIOGRAFÍA

- Accreditation Board for Engineering and Technology (2017). Criteria for accrediting engineering programs, Effective for Reviews During the 2016-2017 Accreditation Cycle. Recuperado de: <https://www.abet.org/wp-content/uploads/2015/10/E001-16-17-EAC-Criteria-10-20-15.pdf>
- Budynas, R. & Nisbett, K. (2015). *Shigley's Mechanical Engineering Design*. New York, N. Y.: McGraw-Hill Education
- Burge S. (2007). *A Functional Approach to Quality Function Deployment (Putting the Function back into Quality Function Deployment)*. Rugby, Warwickshire, England: Burge Hughes Walsh- Systems Engineering. Available from: <https://www.burgehugheswalsh.co.uk/uploaded/1/documents/a-functional-approach-to-quality-function-deployment-v3.pdf>
- Consejo de Acreditación de la Enseñanza en la Ingeniería (2018). *Marco de referencia 2018 del CACEI en el contexto internacional (ingenierías)*. Recuperado de: [http://www.cacei.org/docs/marco\\_ing\\_2018.pdf](http://www.cacei.org/docs/marco_ing_2018.pdf)
- Mu, E. & Pereyra-Rojas, M. (2017). *Practical Decision Making-An Introduction to the Analytic Hierarchy Process (AHP) Using Super Decisions v2*. Springer Link. Available from: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-319-33861-3.pdf>
- Saaty, T. (1990). How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, vol. (48), pp. 9-26. Available from: <http://vpp.sbuf.se/Public/Documents/ProjectDocuments/06f167ef-b243-48ed-8c45-f7466b3136eb/WebPublishings/How%20to%20make%20decision%20AHP.pdf>
- Ulrich, K. T. & Eppinger, S. D. (2013). *Diseño y Desarrollo de Productos*. México: McGraw-Hill