

# Mejores Prácticas en Proyectos de Ingeniería Mecatrónica

## Best Practices in Mechatronics Engineering Projects

Vargas, J. E.

Universidad Autónoma de Querétaro, Cd. Universitaria –  
Querétaro, México.

[emilio@mecatronica.net](mailto:emilio@mecatronica.net)

Fecha de recepción: agosto de 2018 / Fecha de aceptación: septiembre de 2018

## Resumen

El presente artículo muestra una síntesis de las mejores prácticas en proyectos de ingeniería mecatrónica, que por poco más de 20 años de experiencia profesional ha conocido el autor. Dichas prácticas muestran elementos relevantes sobre la consecución de proyectos de corte tecnológico. El documento se refiere a aspectos profesionales a tomar en cuenta con relación al trato con el cliente. Se describe la evolución general de un proyecto de ingeniería mecatrónica, resaltando algunas condiciones del proyecto que lo hacen 'único'. Así mismo, se hace referencia a algunos tipos de estudio de factibilidad, esto con el propósito de que el lector valore perspectivas que pueden ayudar a lograr el éxito del proyecto. El documento muestra la forma en cómo se pueden evaluar alternativas de solución a problemas de ingeniería que presenta el proyecto, así como la forma de estimar tiempos y costos como elementos fundamentales de toda cotización. En la parte última del trabajo se presenta la metodología de desarrollo de proyectos mecatrónicos, como una forma de trabajo profesional de la ingeniería mecatrónica para crear tecnología.

**Palabras clave:** tecnología, factibilidad, cotización.

## Abstract

This paper shows a synthesis of the best practices in mechatronic engineering projects that the author has known for just over 20 years of professional experience. These practices show relevant elements on the achievement of technological cutting projects. The document refers to professional aspects to be taken into account in relation to dealing with the client. The

general evolution of a mechatronic engineering project is described, highlighting some project conditions that make it “unique”. It also refers to some types of feasibility studies, this with the purpose that the reader values perspectives that can help achieve the success of the project. The document shows how to evaluate alternative solutions to engineering problems presented by the project, as well as how to estimate times and costs as fundamental elements of any quote. In the last part of the work, the methodology for the development of mechatronic projects is presented, as a form of professional work of mechatronic engineering to create technology.

**Keywords:** technology, feasibility, quotation.

## El Cliente y el Proyecto

En un contexto de servicio profesional vinculador al desarrollo de proyectos de innovación tecnológica se distinguen dos actores principales: el cliente y el prestador de servicios profesionales. Independientemente si se trata de una empresa y de un particular, en ambos casos existirá una interacción humana. Por una parte, el cliente, quien tiene una necesidad por satisfacer, mediante el desarrollo de un proyecto de corte tecnológico y por otra parte, quien desarrolla el proyecto. Bajo esta situación, es importante reconocer que el

cliente es una persona o grupo de personas, a quienes se les debe dar la oportunidad de realizar el servicio profesional de ingeniería. El rol del cliente no se limita en efectuar la solicitud o contratación de los servicios profesionales, sino también es la persona quien con frecuencia, facilita los medios para lograr la información técnica que requiere el proyecto.

En la siguiente tabla se muestran algunas estrategias que facilitan el trato con el cliente. Esto entendido en que cada cliente presentará situaciones particulares, por lo que seguramente sus necesidades serán únicas.

**Tabla 1.** Estrategias orientadas hacia el trato al cliente.

Estrategia	Descripción
Actitud de servicio	Tener y mostrar un interés genuino en ofrecer alternativas tecnológicas de solución a la necesidad del cliente, en ocasiones abre las puertas a la generación de un contrato. Se aconseja no detallar soluciones, sino esquemas generales que faciliten la comprensión y la viabilidad del proyecto.
Puntualidad	Administrar adecuadamente el tiempo, traduce un mayor número de actividades que se pueden realizar. Iniciar y concluir actividades, respetando los tiempos asignados, refleja una eficiencia en la forma en que se utiliza el tiempo, así como una imagen positiva de responsabilidad.
Compartir información relevante	Informar al cliente de forma oportuna sobre las situaciones relevantes del proyecto puede evitar muchos dolores de cabeza. Sobre todo, en situaciones coyunturales que rebasan la capacidad del líder del proyecto es sumamente valiosa una información veraz y oportuna.
Trato respetuoso y amable	Brindar un trato de respeto y amabilidad resulta ser muy efectivo. No es aconsejable ser adulator, simplemente hay que cuidar no rebasar los límites de las buenas costumbres.
Honestidad oportuna	Actuar de forma honesta traduce un prestigio profesional, lo que sin duda logra un efecto de confianza en el cliente. Es importante anticiparse ante situaciones no deseadas y exponer con lógica y razones, escenarios posibles al cliente, antes de que dichas situaciones aparezcan.

Lealtad en el proyecto	No dejar al cliente solo. Es decir, estar a su lado a pesar de las dificultades que siempre existen durante el desarrollo del proyecto, pues los cambios en el proyecto solicitados por el cliente son un excelente pretexto para hacer su problema una oportunidad para hacer un trabajo valioso.
Confidencialidad	Manejar con discreción y control la información brindada al cliente, una seguridad sobre cómo se maneja la tecnología de su proyecto. Se recomienda definir estrategias de seguridad en el manejo de la información, en caso de que no se tengan, así como planes de seguimiento a dichas estrategias.
Capacidad de respuesta	Una respuesta rápida y expedita genera certidumbre de que se está atendiendo la situación del cliente y por ende, propicia una aceptación positiva del trabajo. Esto no significa que se deje lo que se está haciendo para atender la solicitud del cliente, dependerá de la capacidad, el sentido común y lógica, marcar prioridades en diversas situaciones que se presentan durante el desarrollo del proyecto.

### Evolución del Proyecto

Con el propósito de mostrar de forma general, la evolución de un proyecto orientado hacia la innovación tecnológica, es necesario efectuar al mismo tiempo, una distinción entre las necesidades del proyecto, que generalmente son únicas, las

características del cliente y evidentemente la forma en que el prestador de servicios (bien sea una empresa o una persona) efectúa su trabajo. Las ideas que a continuación se exponen, se basan en experiencias del autor, realizando proyectos de ingeniería en los últimos 20 años.

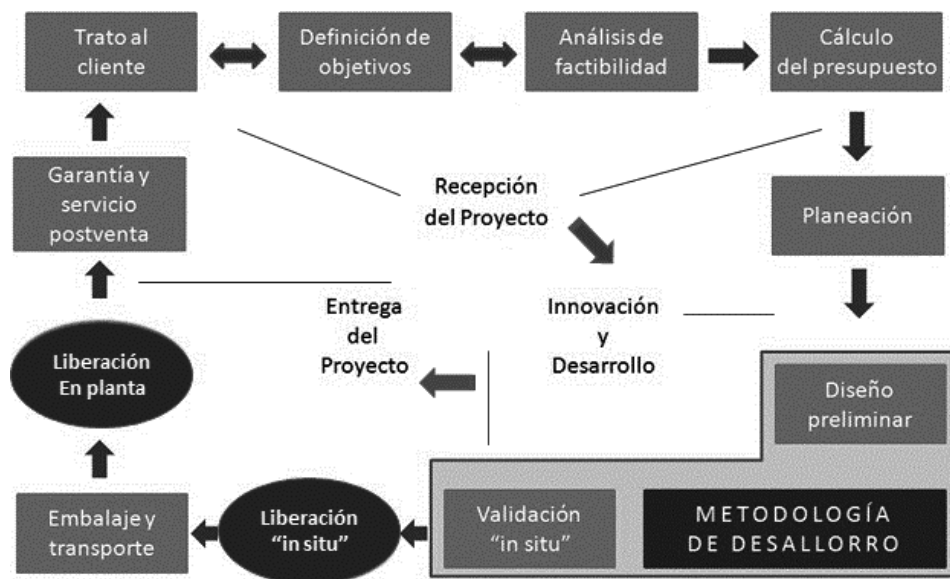


Figura 1. Evolución esquemática del proyecto.

En la figura 1 se muestra de forma general y simplificada, la manera en cómo se puede desarrollar un proyecto de ingeniería mecatrónica, en la cual, la innovación y el desarrollo de tecnología son pilares que sustentan la evolución del conocimiento. El trato con el cliente se desarrolla durante el transcurso de todo el proyecto. El primer contacto resulta decisivo para lograr interés, confianza y una serie de reuniones y entrevistas, orientadas a formalizar la relación con el cliente (contrato) y entender la necesidad que se espera cubrir, mediante el proyecto y los beneficios que se han de generar. La definición de los objetivos que enmarcan el proyecto es el resultado de un entendimiento claro de la problemática a resolver, bajo especificaciones técnicas y de operación bien definidas.

A fin de lograr los objetivos del proyecto, una buena práctica es valorar la posibilidad de éxito o fracaso del proyecto, bajo diferentes enfoques. A continuación, se describen brevemente algunos de los análisis de factibilidad que comúnmente se efectúan para ayudar al líder del proyecto en la toma de decisiones:

a) Análisis de factibilidad económica.

Su objetivo pretende mostrar la viabilidad de la inversión a realizar, el tiempo de vida del producto a desarrollar, el costo de inversión y la forma en que se recuperará dicha inversión, así como las ganancias o ahorros que se podrían generar al desarrollar el proyecto.

b) Análisis de factibilidad tecnológica.

Las ideas o conceptos en un

nuevo proyecto no siempre son tecnológicamente realizables. El objetivo de este análisis pretende evaluar los medios tecnológicos existentes para acometer con éxito el proyecto. Se considera en principio la tecnología existente en la empresa, y su entorno. Así como estrategias para adquirir la tecnología necesaria que requiere el proyecto, su tiempo de asimilación y costo.

c) Análisis de factibilidad financiera.

Por lo general, este análisis se efectúa cuando la empresa no cuenta con los recursos económicos suficientes, o bien le es conveniente buscar algún medio de financiamiento externo. El objetivo de este análisis es mostrar las principales vías de financiamiento del proyecto, la forma en que se cubrirá el financiamiento y los medios en que se evidenciará el uso de los recursos externos obtenidos.

d) Análisis de factibilidad de capital humano.

Este análisis refleja el perfil deseado de las personas que realizarán el proyecto. El sentido de este estudio es que no siempre se tiene una idea clara sobre las habilidades y las experiencias del personal que trabaja en la empresa. Como resultado de dicho análisis se pretende asegurar que el grupo de personas seleccionadas o contratadas para realizar el proyecto mecatrónico cuentan con la experiencia, el conocimiento y las habilidades técnicas necesarias que solicita el proyecto.

Como se ha mencionado anteriormente, cada proyecto presenta características únicas por lo que es conveniente analizar de forma global el impacto que pudiera causar el proyecto desde diferentes ángulos, como los sociales, ecológicos y legales, entre otros. De esta forma, los planes para realizar el proyecto, las personas involucradas en el mismo, los objetivos y los medios para realizarlos permiten desarrollar la cotización del proyecto. Dicha cotización debe reflejar una síntesis de la información estratégica del proyecto, un costo y un tiempo de realización. Todo ello con el propósito de que el cliente tome la gran decisión: aceptar o rechazar la cotización.

En esta etapa, es muy probable que el cliente requiera de cierto tiempo para tomar su decisión. En este sentido y por el 'conocimiento del cliente' que se haya realizado previamente, en las primeras reuniones o por la experiencia lograda con el cliente, es aconsejable efectuar un estrecho seguimiento a la cotización, mediante las vías que se consideren adecuadas. En ocasiones, el cliente indica que él se comunicará, o bien es posible que deje abierta una o varias vías de comunicación que facilite el seguimiento a la cotización. En cualquiera de los dos casos, es muy probable que sea necesaria una negociación sobre dicha cotización. Redefinir el proyecto con cambios que no

afectan sustancialmente los objetivos es una práctica muy común. Dependerá del líder del proyecto, de las políticas de la empresa y del cliente lograr de mutuo acuerdo, una redefinición del proyecto y sus objetivos, con el propósito de iniciar el trabajo técnico del proyecto, bajo los términos que se hayan definido en el contrato.

## Evaluación de Alternativas

Una vez 'traducida la necesidad del cliente' resulta indispensable asegurar que lo entendido corresponde fielmente a lo solicitado. Para ello, es suficiente elaborar un reporte, donde se describan brevemente las condiciones observadas, los requerimientos cualitativos y cuantitativos del proyecto mecatrónico a desarrollar, así como algún otro dato que pudiera ser de interés. Dicho reporte se hace llegar al cliente, solicitando su visto bueno. Esta sencilla práctica permitirá un enfoque adecuado del grupo de desarrollo. Al lector de este artículo, le sorprendería conocer cuántas propuestas son rechazadas o rediseñadas por la falta de esta práctica. Después de todo, resulta lógico confirmar los requerimientos, antes de trabajar sobre las propuestas que pudieran satisfacer la necesidad del cliente.

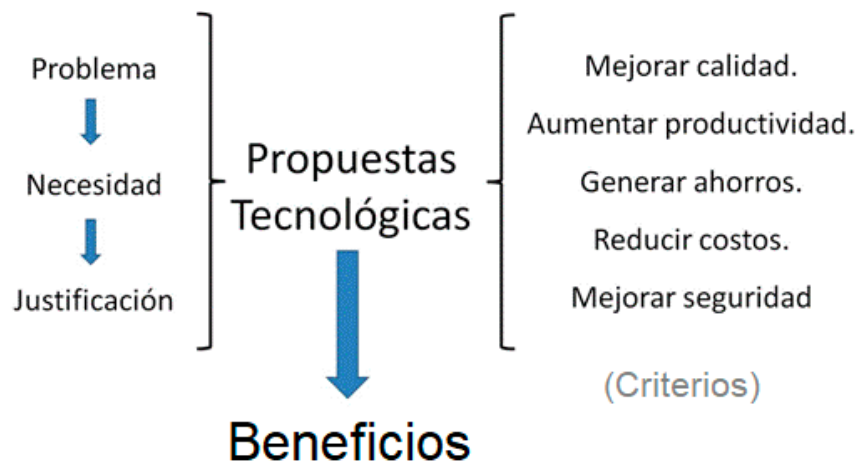


Figura 2. Principales criterios que dan lugar al proyecto.

La figura 2 muestra algunos de los principales criterios a considerar, para elaborar las propuestas que han de definir el trabajo a realizar en el proyecto.

Las propuestas tecnológicas que se propongan han de integrar diversos aspectos, dependiendo de la naturaleza del problema a resolver. Es común ponderar prioridades de los criterios, a fin de evitar sesgos en la toma de decisiones, durante el desarrollo de dichas propuestas, esto debido a la interrelación que pudieran tener los elementos a evaluar. No hay que olvidar que cada propuesta responderá como solución independiente al problema del cliente, asegurando cubrir el o los elementos requeridos. Evidentemente, habrá quien proponga que todos los elementos son importantes y estará en lo correcto. Sin embargo, para fines prácticos de decisión, su ponderación permitirá evaluar de forma objetiva y cualitativa, las alternativas de solución. Ante todo, no hay que olvidar que

una adecuada evaluación permite delimitar el proyecto mecatrónico en su justa medida, propiciando la consecución de los beneficios esperados.

Un método ampliamente utilizado para tomar decisiones sobre las propuestas tecnológicas es el denominado QFD, sus siglas provienen de (*Quality Function Deployment*), que en idioma español se traduce como: Función de Despliegue de la Calidad (Zaidi, 1993). El QFD, también conocido como 'Casa de la Calidad', aplicado a los proyectos de desarrollo tecnológico permite cruzar información sobre las necesidades del cliente, las características de calidad de la máquina a desarrollar, así como las cualidades de los productos líderes (máquinas similares de gran aceptación), todo ello bajo una matriz ponderada que permite distinguir las características técnicas que deberá cubrir el proyecto mecatrónico.

## Estimación de Tiempos y Costos

La estimación de los tiempos y costos en un proyecto mecatrónico es una actividad que merece especial atención. Desde un punto de vista sistémico, hasta aquí se han descrito algunas de las prácticas que permiten definir el gran objetivo general del proyecto.

Tomando como base la metodología de proyectos en ingeniería, es común dividir ese gran objetivo en objetivos particulares, tantos como el proyecto lo requiera. La idea es simple, la composición de todos los objetivos particulares, permite la consecución del gran objetivo. En pocas palabras, si existe la capacidad de lograr todos los objetivos particulares del proyecto, se podrá lograr el objetivo general. La siguiente ecuación refleja este concepto sistémico.

$$\text{Objetivo General} = \sum_{k=1}^n \text{Objetivo Particular}_k \quad (1)$$

- » Con base en el análisis de los objetivos particulares, resulta razonable considerar que:
- » Cada objetivo particular requiere de recursos.
- » Cada objetivo particular requiere de acciones concretas.
- » Cada objetivo particular requiere de un tiempo de desarrollo.
- » Cada objetivo particular requiere de un seguimiento.
- » Cada objetivo particular requiere ser controlado.
- » Cada objetivo particular requiere de ser evaluado.

De esta forma, es evidente que cada objetivo particular define propósitos específicos a lograr y que para lograr dichos propósitos se requieren acciones muy concretas, las cuales son realizadas por personas, con base a los recursos designados al proyecto y la infraestructura necesaria para cada acción.

Por otra parte, es indispensable estimar el tiempo y el costo de cada objetivo particular. Es una buena práctica, contar con un tabulador que relaciona un determinado perfil del capital humano con el pago que se le dará a cada persona que colabora en el proyecto. En la tabla 2 se ilustra, a manera de ejemplo, como podría estar constituido un tabulador de capital humano.



Tabla 2. Tabulador de perfiles del capital humano.

Perfil del capital humano	Actividad	Experiencia	
		Escasa (\$/hora)	Suficiente (\$/hora)
Técnico	De operación de equipos	4,0	8,0
	De apoyo	3,5	7,0
	De escritorio	4,00	8,0
	De diseño	5,00	10,0
Licenciatura	De planeación	7,0	17,0
	De diseño	12,0	22,0
	De escritorio	9,0	15,0
Maestría	De diseño	10,0	16,0
	De investigación	17,0	30,0
	De gestión	13,0	26,0
Doctorado	De diseño	25,0	35,0
	De investigación	30,0	40,0
	De gestión	20,0	30,0

Una vez definido el tabulador, este será utilizado para determinar los costos derivados de la contratación del capital humano que trabajará en el proyecto mecatrónico. Por cada alternativa de solución evaluada (QFD) habrá que estimar

los costos y los tiempos requeridos para lograr cada objetivo particular. En la figura 3 se muestran los principales elementos a considerar en la estimación de costos y tiempos.



Figura 3. Elementos para estimar tiempos y costos.

En lo que respecta al costo de infraestructura, este se refiere al costo asignado al proyecto, por el uso de laboratorios, computadoras, materiales y equipos especializados requeridos para el proyecto. Su estimación se efectúa, con base en conocimientos especializados de la ingeniería económica que se encuentran fuera del alcance del presente artículo.

Con relación a las adquisiciones, es importante remarcar especial cuidado en su vigencia, el tipo de moneda de las compras a efectuar, así como los tiempos de entrega. Los materiales, herramientas y equipos que se estima se habrán de adquirir en cada propuesta deben reflejar en buena medida cantidades aproximadas, con base en las transacciones comerciales que de forma regular se llevan a cabo. Por ejemplo, tiempos de entrega entre dos y tres semanas son bastante comunes. En otros casos, para el caso de materiales pudiera haber una compra mínima establecida que sobrepase los requerimientos del proyecto.

En el caso de la contratación de servicios, se recomienda contar con información sobre

la calidad del servicio a contratar. Tener especial cuidado en solicitar una garantía de asesoría durante y después de la entrega del proyecto, es otro elemento a considerar. Existen una gran variedad de empresas que ofrecen diferentes servicios asociados a proyectos mecatrónicos, algunas de ellas se especializan en:

- a) Búsqueda de información especializada (patentes).
- b) Programación de *software* a la medida.
- c) Traducción de información técnica.
- d) Trámites legales.
- e) Vigilancia.
- f) Transporte.

Aun cuando pudiera resultar evidente mencionar que el proyecto mecatrónico se enmarca en los términos de un contrato entre el cliente y el desarrollador, habrá que estimar el pago de los impuestos federales, locales y comerciales respectivos, a fin de garantizar un trabajo dentro de un orden

de legalidad y certidumbre. La estimación del pago de impuestos es un elemento que no debe faltar en una cotización formal, después de todo, en teoría, mediante el pago de impuestos se generan recursos que favorecen a la sociedad.

asociado a la logística que requerirá el proyecto, tanto de personal como de algunos materiales y equipos. Es común considerar un rubro especial de 'imprevistos' para el caso de objetivos particulares, en en que se prevén acciones alternativas.

En lo que respecta a 'otras actividades', depende de la naturaleza del proyecto, cuantificar por ejemplo, la renta de un espacio físico o bien considerar un costo

Con relación a la elaboración de la cotización, la tabla 3 muestra una síntesis de mejores prácticas a tomar en cuenta, al momento de realizar una cotización.

**Tabla 3.** Síntesis de mejores prácticas para elaborar una cotización.

Estrategia	Descripción
No incrementar costos de forma desproporcionada.	Costear de manera justa, con base a los costos comerciales resulta ser muy efectivo. Aumentar costos de componentes de forma exagerada es una forma de exponer la falta de honestidad. Conviene conocer el mercado para fijar el costo, sin que ello ocasione un riesgo económico del proyecto.
Conocimiento real de capacidades.	Entre mejor se conozca nuestra capacidad, mayor certeza habrá en los tiempos requeridos para lograr cada objetivo específico. Es recomendable preguntar a cada integrante del grupo de desarrollo, una estimación personal del tiempo que le llevará cada actividad, a fin de no realizar estimaciones unilaterales fuera de la realidad.
Líneas de trabajo bien definidas.	Contar con líneas de trabajo bien definidas permitirá valorar con mayor grado de certidumbre el proyecto mecatrónico por realizar. No por lograr un jugoso contrato, se debe poner en riesgo la experiencia y el prestigio, realizando proyectos sin la experiencia necesaria.
Definición operativa del proyecto.	Esta estrategia resulta vital para acordar con todos los participantes, incluido por supuesto el cliente, la forma en cómo se llevarán a cabo las acciones administrativas derivadas del proyecto. Aun cuando pudieran obviarse algunas de estas acciones, siempre será mejor comunicar los procedimientos, a fin de esclarecer cualquier duda en este sentido.
Claridad y consistencia.	Estas características le darán a la cotización, una ventaja competitiva para presentar de forma elegante y simple, la información que desea conocer el cliente. Hay que evitar información compleja e innecesaria que pudiera confundir o cansar al cliente. Si el proyecto lo requiere, se pueden agregar anexos a la cotización, a fin de simplificar la información relevante.

Rol de actores.	En la cotización ha se describirse de forma precisa el papel que han de desempeñar los protagonistas del proyecto mecatrónico. Se recomienda iniciar con la descripción de las tareas y responsabilidades de un único líder del proyecto, así como la de su contraparte por parte del cliente.
Variedad y flexibilidad	Una cotización que presenta dos o más opciones tecnológicas tiene mayores probabilidades de ser aceptada.

Con respecto a la ganancia del proyecto, esta se puede determinar de varias formas, ya sea por las políticas que tiene definida la empresa, por las características del proyecto, por la manera en que se proyectará la recuperación del desarrollo del proyecto e incluso, por la experiencia del líder del proyecto. Está claro que cada proyecto presenta diferentes situaciones, una práctica muy común es considerar el cálculo de la ganancia como un porcentaje del costo total del proyecto. En ocasiones depende de las políticas de costeo de la empresa, asignar un valor a dicho porcentaje, el cual regularmente se encuentra entre el 8% y el 16%. Sin embargo, se sabe de empresas integradoras y centros de investigación que aplican hasta un 30%. Otra práctica relacionada con el cálculo de la ganancia se efectúa en función del volumen máximo de producción que la máquina mecatrónica será capaz de obtener. A mayor volumen de producción, mayor ganancia. De esta forma, la ganancia calculada bajo este criterio representa un porcentaje del volumen máximo de producción del producto. Una última práctica por mencionar en lo que respecta al cálculo de la ganancia, está asociada a la complejidad del problema a resolver, así como a los derechos patrimoniales que se hayan especificado en el contrato comercial. Entre más

complejo sea el problema que resolver, mayor oportunidad se tiene en generar un desarrollo tecnológico patentable, por lo que la ganancia del proyecto merece especial atención por parte de los desarrolladores.

## Metodología de Desarrollo

La metodología que a continuación se describe ha sido desarrollada por el autor y que ha sido documentada, dada su efectividad en proyectos de tipo industrial, de investigación y académicos (Vargas y Rodríguez, 2004; Vargas et al., 2011; Vargas E., 2000). Antes de continuar, conviene hacer mención de algunas razones que justifican la aplicación de una metodología en proyectos mecatrónicos:

- a) Gestionar adecuadamente los recursos del proyecto.
- b) Reducir los tiempos de desarrollo del proyecto.
- c) Focalizar y evaluar puntos de control específicos.
- d) Reducir los costos asociados al seguimiento del proyecto.
- e) Lograr una visión global del proyecto.

- f) Facilitar el desarrollo del proyecto de forma integral.
- g) Claridad en las actividades a realizar.
- h) Facilitar la dirección y evaluación del proyecto.
- i) Acercar la experiencia de gestión de proyectos.
- j) Generar confianza y buena imagen hacia los clientes.

vía de comunicación entre los participantes del proyecto, así como de las personas que de forma indirecta brindan soporte al mismo. Hoy en día, gracias a herramientas computacionales que facilitan compartir información específica del proyecto e internet, se logra una interacción que facilita el desarrollo del proyecto con una visión global e integral de los participantes.

La figura 4 ilustra esquemáticamente las funciones principales asociadas al desarrollo de proyectos mecatrónicos.

Un aspecto estratégico que requiere la metodología de desarrollo es una eficiente

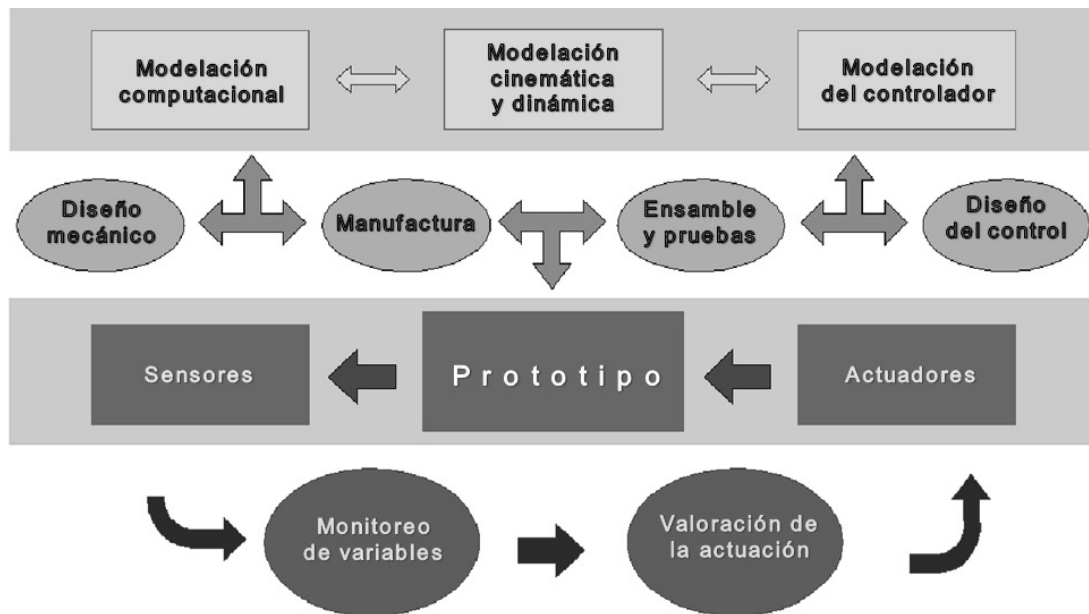


Figura 4. Metodología de desarrollo del proyecto mecatrónico.

En esta metodología se consideran cuatro niveles de desarrollo.

- **Nivel de modelación y simulación:** se generan los modelos matemáticos de comportamiento y control de

subsistemas del prototipo. Se validan dichos modelos y se analizan sus resultados.

- **Nivel de manufactura e integración:** se desarrollan planos de manufactura y

ensamble del prototipo. Se construye, ensamblan y prueban los subsistemas del prototipo.

- **Nivel de prototipo:** se ajusta y prueba los sistemas del prototipo, trabajando en conjunto. Se rediseña y se efectúan pruebas estadísticas de funcionamiento. Se verifican las especificaciones y 'entregables' al cliente.
- **Nivel de comparación:** se contrasta el comportamiento de los modelos matemáticos con el desempeño real del prototipo. Se genera un conocimiento nuevo que propicie el desarrollo de mejores modelos de comportamiento para ser aplicados en el futuro.

Uno de los principales problemas que a menudo se enfrentan los desarrolladores de proyectos tecnológicos es definir el inicio del 'trabajo duro de ingeniería'. Es decir, llevar la abstracción de los fenómenos relacionados con el funcionamiento del prototipo a términos entendibles por los grupos de desarrollo. Esta metodología muestra una respuesta a este conflicto. Antes de iniciar una descripción más profunda, conviene recordar que en el contrato se encuentra la definición de lo que se quiere realizar, por lo que el trabajo previo de las propuestas presentadas en la cotización, permite un ejercicio intelectual de predefinición, que resulta de gran utilidad para generar los modelos matemáticos que reflejan el comportamiento de lo que se quiere construir.

La modelación matemática como actividad inicial de esta metodología, en la gran

mayoría de los casos, está compuesta por ecuaciones que describen la cinemática y la dinámica de subsistemas del prototipo. Su solución merece especial atención para garantizar que dichos modelos respondan a la realidad. Afortunadamente, existe una gran variedad de herramientas computacionales que permiten implantar y resolver dichos modelos matemáticos, así como analizar su comportamiento, bajo una parametrización de variables de especial interés. En este sentido, el análisis de los modelos lleva al desarrollador a tomar decisiones que definen algunas de las características cuantitativas del prototipo.

Como una consecuencia de las decisiones mencionadas en el párrafo anterior, el diseño mecánico y la manufactura de las primeras piezas que conformarán el prototipo da inicio, al igual que la definición de las primeras compras de materiales, interfaces, sensores y actuadores, entre otros componentes. Dependiendo del tipo de proyecto, y las especificaciones del prototipo, el segundo nivel de la metodología aquí presentada podría llevar varios meses de trabajo de los grupos de desarrollo. Todos los participantes deberán estar atentos a los cambios de diseño, por lo que al menos, se recomiendan reuniones generales de avance, cada semana con los grupos de desarrollo. Es importante remarcar que en esta etapa es de esperarse el mayor consumo del presupuesto designado al proyecto, así como la generación de retardos ocasionados por diferentes motivos (atraso en compras, trabajos no concluidos, rediseño de componentes, ensambles fuera de especificación, etc.). El líder del proyecto y su grupo de seguimiento

deberán estar muy atentos a las señales que pudieran ocasionar retrasos en el proyecto y un consumo excesivo de recursos.

Una vez integradas todas las piezas, componentes y subsistemas (*software* y *hardware*) que conforman el prototipo, se lleva a cabo la evaluación estadística del desempeño del prototipo. Es común observar que algunos subsistemas no funcionan correctamente cuando fueron probados de forma individual, las razones pueden ser varias, por lo que habrá que investigar y hacer un análisis de perturbaciones (mecánicas y electromagnéticas), a fin de atenuar ruidos que origina el mal funcionamiento de los subsistemas. Dependiendo de la complejidad que presente el prototipo para poderlo llevar a punto, es momento de actualizar información y generar manuales. Una vez que el prototipo pasa las pruebas de funcionalidad y muestra una aceptable robustez, una práctica común es iniciar los acuerdos de transporte y entrega de la máquina mecatrónica al cliente. Es entendible suponer la entrega de la máquina tan pronto como sea posible, toda vez que se ha aprobado por parte del cliente el funcionamiento de esta.

Sin embargo, entregar la máquina tan pronto como sea posible, no siempre resulta lo más conveniente. Tomarnos un par de días para analizar el 'comportamiento real' vs. 'Comportamiento virtual' del desempeño de la máquina, bajo diferentes condiciones de trabajo, brinda una oportunidad única para acrecentar nuestro conocimiento.

El error, el cual siempre existe, se entiende en el contexto del diseño, como la diferencia

entre lo construido contra lo idealizado. Su análisis permite una posibilidad maravillosa de entender mejor nuestra realidad.

## Conclusiones

La importancia de este trabajo radica en dar a conocer una experiencia profesional significativa sobre las mejores prácticas que el autor ha vivido durante el desarrollo de proyectos de investigación y desarrollo tecnológico de máquinas, bajo la filosofía de la ingeniería mecatrónica.

Con relación a la metodología de desarrollo de proyectos, en la última etapa referida como Nivel de Comparación, cabe resaltar que: "Si somos capaces de mejorar los modelos matemáticos que dieron origen al prototipo de máquina mecatrónica, sin duda tendremos un nuevo conocimiento que podrá ser aplicado para crear en un futuro, **máquinas más eficientes. A esto le llamo: hacer tecnología**".

## Referencias Bibliográficas

Vargas, E. (2000). Metodología Aplicada al Desarrollo de Máquinas Mecatrónicas. Congreso Latinoamericano de Instrumentación y Control de Procesos. Universidad Autónoma de Querétaro. Agosto 2000. México.

Vargas, E. & Rodríguez, W. (2004) *Mechatronics Design of an Automatic Machine To Manipulate*

*Sheet of Cardboard, Proceedings of The International. Congress on Mechatronics and Robotics MECHROB, IEEE Industrial Electronics Society, European Center for Mechatronics, Aachen, Alemania.*

*de Tornillos, 10<sup>o</sup> Congreso Nacional de Mecatrónica, Centro Internacional de Convenciones de Puerto Vallarta, Instituto Tecnológico Superior de Puerto Vallarta y Asociación Mexicana de Mecatrónica A.C., Puerto Vallarta, Jalisco.*

Vargas, E., Tovar, S., Canchola, S., Gorrostieta, E. & Pedraza C. (2011). *Interface Gráfica Industrial para el Monitoreo de Ensamble*

Zaidi, A. (1993). *Q.F.D. Despliegue de la Función de la Calidad*. España: Díaz de Santos.