

# Desarrollo mecatrónico de nuevos productos orientado a la capacidad tecnológica disponible

**Genovevo Morejón Vizcaíno**

Correo electrónico: gmvizcaino@mecanica.cujae.edu.cu

**Artículo de Reflexión**

**José Ricardo Díaz Caballero**

Correo electrónico: joser@gest.cujae.edu.cu

**José Arzola Ruiz**

Correo electrónico: jarazola@mecanica.cujae.edu.cu

Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

## Resumen

Este trabajo propone una metodología de innovación tecnológica denominada "Desarrollo mecatrónico de nuevos productos orientado a la capacidad tecnológica disponible". Se muestra como caso de estudio el desarrollo de un hidromotor de pistones radiales.

Palabras clave: desarrollo de nuevos productos, capacidad tecnológica, mecatrónica, ingeniería inversa, innovación tecnológica, métodos de investigación

Recibido: 28 de mayo de 2011 Aprobado: 23 de junio de 2011

## INTRODUCCIÓN

El término *mecatrónica* fue acuñado en Japón a principios de los años 70 del siglo pasado y comenzó a ser usado en Europa y EE. UU. un poco después; inicialmente se definió como la integración de la mecánica y la electrónica en una máquina o producto, pero luego se consolidó en una especialidad de la ingeniería que incorporó otros elementos como los sistemas de computación, los desarrollos de la microelectrónica, la inteligencia artificial, la teoría de control y otros campos relacionados con la informática, teniendo por objetivo el mejoramiento de los elementos industriales a través de la optimización de cada uno de sus subprocesos con nuevas herramientas sinérgicas.

La mecatrónica apunta a la unidad en la diferencia de las ingenierías; en contraposición a la comprensión de la ingeniería como un ámbito de disciplinas separadas, propugna un enfoque transdisciplinario, complejo, dialéctico y holístico del quehacer ingenieril, basado en sistemas de comunicación abiertos y prácticas concurrentes, para el diseño y la fabricación de mejores productos y procesos de ingeniería.

Claros ejemplos de desarrollos mecatrónicos son la cámara fotográfica digital, que cumple una amplia configuración de parámetros automáticamente, como el ajuste de la exposición, foco, zoom, y otros, así como los robots diseñados para realizar tareas específicas de forma autónoma.

El sistema mecatrónico se basa en un microprocesador (computadoras personales PC; controladores lógicos programables, PLC y circuitos integrados programables, PIC) para recibir y procesar a través de un programa informático las señales que envía un sistema integrado de sensores; el resultado de este procesamiento es una orden para los actuadores que mueven los diferentes órganos de la máquina garantizando así la puesta en práctica de un servicio de manera automatizada. En otras palabras, los sistemas mecatrónicos están integrados por sensores, microprocesadores, controladores y actuadores. Tal es el caso de los robots, las máquinas controladas digitalmente, los vehículos guiados automáticamente y otros.

El objetivo del presente artículo es exponer los aspectos esenciales de una metodología para la innovación de productos, que involucra el método de la ingeniería inversa y aprovecha las ventajas de la mecatrónica con el empleo de PC como herramientas y la capacidad tecnológica incorporada en los elementos normalizados, denominados aquí "Desarrollo mecatrónico de nuevos productos orientado a la capacidad tecnológica disponible".

## DESARROLLO MECATRÓNICO DE NUEVOS PRODUCTOS ORIENTADO A LA CAPACIDAD TECNOLÓGICA DISPONIBLE COMO PROCESO DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

La *innovación tecnológica* se piensa como la primera utilización y comercialización de nuevos y mejorados productos, procesos, sistemas o servicios; un proceso que consiste en conjugar oportunidades técnicas, como necesidades, integrando un paquete tecnológico que tiene por objetivo introducir o modificar productos o procesos en el sector productivo y de servicio con su consecuente comercialización o también un proceso unitario que abarca desde la generación de una idea hasta su introducción en el mercado en forma de nuevo producto o proceso".

En la práctica, estas tres definiciones se deben más a la intención de destacar uno u otro aspecto del contenido de la innovación tecnológica que a diferencias sustanciales de principio en la comprensión de ese contenido y pueden considerarse válidas como reflejo conceptual del fenómeno innovador. Por su esencia, la actividad del ingeniero, en cualquiera de las formas o modalidades de su trabajo profesional, es innovadora. Ello se puede constatar cuando se examina el ciclo general del proceso de innovación tecnológica. [1]

Según los enfoques más actuales sobre la innovación, esta se considera un proceso interactivo de acumulación de conocimientos, provenientes de la investigación y desarrollo (I + D), clientes, suministradores, inversiones, financiación, producción, prueba, alianzas, competidores, patentes, literatura, que viabilizan la creación de capacidades tecnológicas en la organización.

El *desarrollo mecatrónico de nuevos productos* como proceso de investigación tecnológica innovativa que es, está conformado por fases que guardan una estrecha relación entre sí, lo que no significa entender dicho proceso como lineal, pues la interconexión de fases y las etapas que las componen depende de las características de cada innovación tecnológica (figura 1).

Cada fase esta compuesta por todo un conjunto de etapas o subprocesos estrechamente concatenados.

### Primera fase

La primera fase comienza con la detección de la situación problemática innovativa y concluye con la etapa de contrastación del nuevo conocimiento obtenido (figura 2).

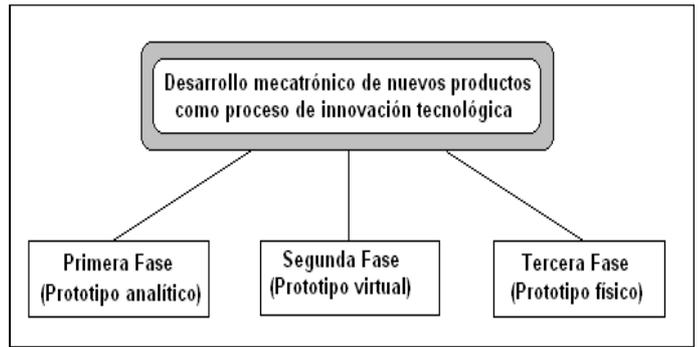


Fig. 1. Modelo general del desarrollo mecatrónico de nuevos productos como proceso de innovación tecnológica.

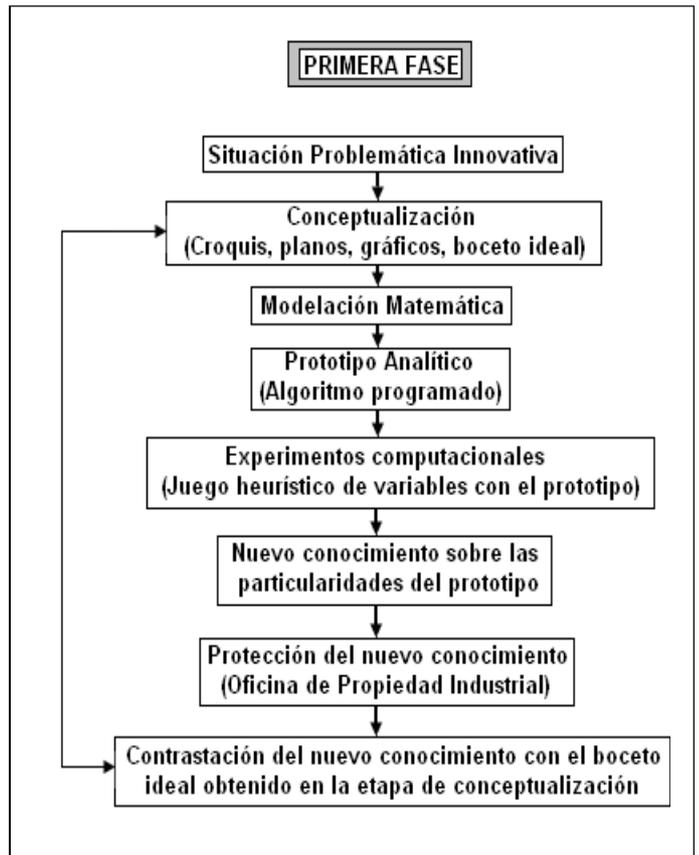


Fig. 2. Primera fase del desarrollo mecatrónico de nuevos productos.

### Etapas de detección de la situación problemática innovativa

La innovación tecnológica es, en resumidas cuentas, un proceso de investigación que comienza con la detección de una situación problemática y culmina con la modificación socialmente útil de dicha situación en la práctica. Una necesidad de la práctica tecnológica o un requerimiento para el desarrollo industrial económicamente sostenible en determinado contexto local, nacional o regional, un descubrimiento científico, una invención técnica, una lectura especulativa novedosa de algún elemento presente desde

hace tiempo en el fondo de conocimientos tradicionales, un suceso o experiencia de la vida cotidiana, etc., puede generar en el hombre la necesidad de introducir un cambio, una modificación en el *estado del arte* tecnológico existente con el propósito de mejorar o crear un nuevo producto, proceso o servicio, en otras palabras, puede generar la percepción de una situación problemática innovativa (figura 3). [1]

En el plano metodológico esta es una etapa de incitación a la realización de procesos de innovación que requiere del ingeniero la capacidad de realizar lecturas especulativas heurísticas y asociaciones inusuales de ideas e imágenes, una habilidad de "vista" y "olfato" para innovar.

Con frecuencia la situación problemática innovativa surge de la decisión de construir endógenamente el producto necesario para satisfacer una necesidad social con el objetivo de sustituir importaciones o aprovechar el conocimiento existente para generar nuevos empleos.

Al conjunto de productos presentados en el mercado que satisfacen una necesidad social, se le denomina *Conjunto de Productos Necesarios* (CPN). Se pretende que las prestaciones de los productos a innovar sean comparables o superiores a la media del CPN que se encuentra en el mercado en el momento de realizar el desarrollo. Como regla bastante general estos son productos importados utilizados en sectores estratégicos priorizados como el alimentario, la industria, la defensa y los servicios.

En la práctica, el desarrollo de nuevos productos siempre está asociado a la innovación tecnológica como proceso de crear y lanzar al mercado productos originales, mejorados, modificados y marcas nuevas por medio de actividades de investigación y desarrollo (I+D). El proceso de desarrollo de nuevos productos lleva implícito acciones de distintas áreas funcionales, investigación y desarrollo, marketing, producción, finanzas, etcétera.

**Etapa de conceptualización**

Detectar una situación problemática innovativa no es aún reconocer la oportunidad innovadora. Para ello es

imprescindible que la situación problemática sea traducida de forma clara y precisa en una formulación capaz de captar en una unidad indisoluble el elemento técnico, las posibilidades económico-financieras del país y la demanda del mercado, lo cual requiere ante todo examinar las nociones esenciales explícitas e implícitas en la formulación problemática, para después estar en condiciones de evaluar las diversas alternativas de innovación a seguir. Dichas alternativas no solo deben cumplir el requisito de modificar de manera socialmente útil la situación problemática planteada sino también congeniar de forma armónica el elemento técnico y las necesidades del mercado. [2]

Si en la etapa 1 se detectan el elemento técnico y la demanda potencial o real, a nivel de la etapa 2 se produce ya el reconocimiento de dichos factores. Ello presupone, para el elemento técnico, realizar un minucioso estudio de la novedad tecnológica que dicho elemento porta como posible objeto potencial de innovación y, para la demanda nacional o regional, establecer las probables lagunas a llenar o nichos del mercado. En otras palabras, es necesario establecer el *acento de la novedad tecnológica y del mercado en los marcos de la capacidad tecnológica disponible*.

Piénsese en el desarrollo mecatrónico de un motor. La capacidad tecnológica disponible es el sistema de conocimientos, habilidades y experiencia existente en los obreros, técnicos, ingenieros y el personal de dirección, así como los tipos y grado de presión de las máquinas herramientas y dispositivos de maquinados; incluye también las posibilidades de obtención de semiproductos por procesos de soldadura, fundición y conformación conjuntamente con la calidad de las instalaciones y la habilidad organizacional existente para darle respuesta a las exigencias impuestas a los elementos a construir por la envergadura del problema de innovación tecnológica a resolver.

La etapa de conceptualización tiene implícita las subetapas de producción y selección de ideas las cuales se generan a

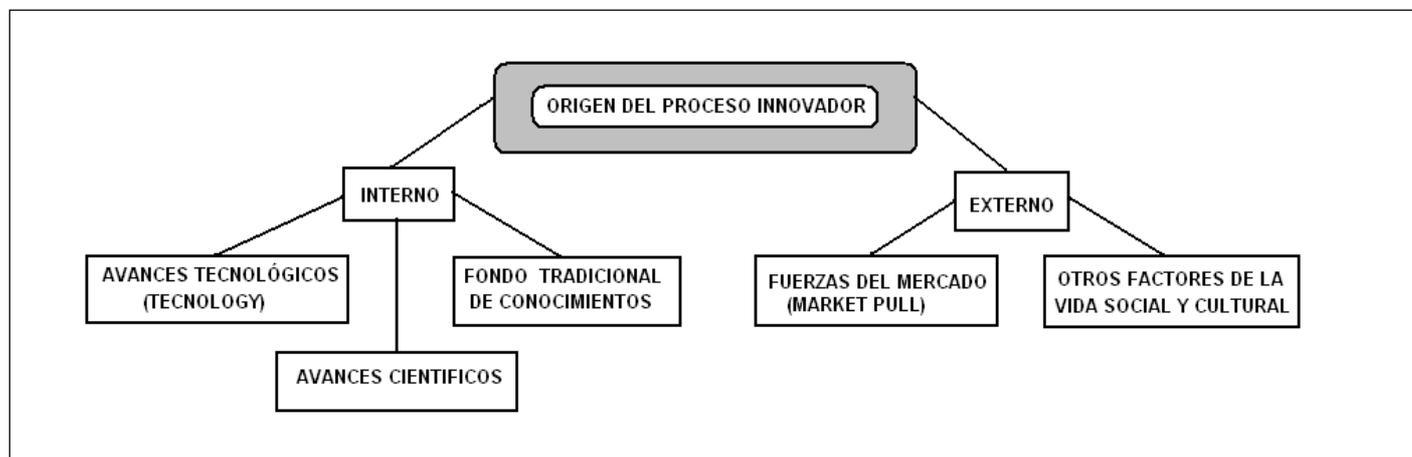


Fig. 3. Fuentes de proceso innovador. Lo interno y externo se determina respecto al dominio científico-técnico.

partir de la situación problemática innovativa. Las ideas se forjan y eligen a partir de la necesidad social y la capacidad tecnológica disponible, a través del *producto comercial apropiado (PCA)*. Por lo tanto, son inherentes a esta segunda etapa la observación tecnológica, los procesos inductivos y la formulación de hipótesis de trabajo. La observación en esta etapa se realiza sustentada en el método de la ingeniería inversa que se practica sobre el PCA, que puede ser un tractor, un motor de combustión interna, un equipo de resonancia magnética, un equipo de laboratorio o electrodoméstico, un laminador, un avión, etcétera.

El PCA es un elemento del CPN que permite ser fabricado con la menor cantidad de modificaciones al emplear la capacidad tecnológica disponible y sus prestaciones resultan comparables o superiores a las de los productos homólogos que se encuentran en el mercado. Esta selección se realiza mediante un proceso de inducción. Aquellos elementos de máquinas que por sus exigencias constructivas no permitan ser manufacturados con la capacidad tecnológica disponible se denominarán *elementos marcados*.

La conceptualización o presentación del concepto tiene como objetivo esencial realizar esquemas o bocetos que permitan formarse una idea sobre el nuevo producto y definir su modelo matemático. Se muestran las soluciones básicas constructivas y permite explicar el principio de funcionamiento, así como encontrar sus fortalezas y debilidades. Al conceptualizar se sustituyen las funciones de los elementos marcados con elementos normalizados aprovechando así la capacidad tecnológica contenida en ellos y se introducen soluciones mecatrónicas para incrementar las prestaciones del producto y simplificar las soluciones constructivas.

El conjunto de todas estas acciones es lo que se pretende caracterizar con el término *nuevos productos mecatrónicos*. Dicho de otra manera conceptualizar el nuevo producto es plantearse una hipótesis que debe ser verificada.

#### Etapa de modelación matemática

Al precisar el acento de la novedad tecnológica y del mercado, y seleccionar la alternativa de innovación a desarrollar, se determina el objeto específico de la innovación y el carácter radical o incremental de la misma, con lo cual se identifica y define el problema esencial a resolver con el proceso innovador y la hipótesis a verificar capaz de modificar la situación problemática detectada. La expresión *tecnológico apropiado* significa aquí que el objeto de la innovación debe ser factible tanto en el plano técnico como en los planos económico, del mercado, socioambiental y del entorno cultural.

La *factibilidad* del objeto técnico de innovación es la hipótesis que hay que demostrar en el proceso innovador y sus *variables*, a definir tanto conceptual como operacionalmente, son las factibilidades *técnica, económica, de mercado, socioambiental y cultural*.

Del estudio de factibilidad técnica o diseño del prototipo analítico se infiere si existen las *condiciones de mercado*, como momento también importante donde se analizan los indicadores de costo, financiación, riesgo y otros que se relacionan directamente con las estrategias genéricas de la organización.

Los estudios de factibilidad socioambiental y cultural, con frecuencia ignorados por las organizaciones en su actividad innovativa, tienen que ver con los posibles impactos del proceso de innovación sobre el entorno social, medioambiental y cultural de la región donde se introducirán y generalizarán sus resultados.

En la actualidad, el uso de los modelos matemáticos para el desarrollo de nuevos productos está muy extendido ya que permite formalizar cualquier ente para su posterior análisis y síntesis empleando las técnicas informáticas. Para deducir el modelo matemático se emplean los esquemas obtenidos en la etapa de conceptualización, además, de los postulados y leyes definidas por diversas ciencias aplicadas como la Mecánica Teórica, la Teoría de las Máquinas y Mecanismos, la Hidráulica, las Máquinas Volumétricas, la Termodinámica y otras.

La modelación matemática además de profundos conocimientos matemáticos y el estudio pormenorizado del área de la ciencia donde se esté trabajando, requiere también de una dosis de estética. Los modelos matemáticos del nuevo producto ( $M$ ) están formados por un conjunto de relaciones ( $R$ ) y otro de variables ( $V$ ), lo cual posibilita su representación por medio de grafos dicromáticos donde los nodos de un color expresan las relaciones y los del otro las variables en  $M(R, V)$ .

#### Etapa de conformación del prototipo analítico

I. March Chada y M. Lloria Aramburu plantean que "... un prototipo es un ente tangible o no, que reproduce los atributos del producto ya sea de forma total o parcial". [3] En consonancia con esta definición, los programas de computación desarrollados a partir de los modelos matemáticos son prototipos analíticos, ya que con ellos se determinan los valores de los atributos de los productos a desarrollar, según sea el alcance del modelo matemático, como: su geometría, fuerzas, esfuerzos, las pérdidas de potencia, eficiencia, temperatura, presión, etcétera. El paso intermedio entre el modelo matemático y el software es el algoritmo. La definición más sencilla de algoritmo es establecer una secuencia de cálculo adecuada.

El doctor José Martínez Escanaverino [4] propone y fundamenta un método para desarrollar los algoritmos a partir de los modelos matemáticos empleando grafos dicromáticos donde se brinda la siguiente metodología (figura 4):

- Trazar el grafo dicromático del modelo matemático.
- Plantear un problema sobre el modelo matemático, esto es, definir los subconjuntos de variables de salida y entrada con el objetivo de calcular el valor de las primeras en función de las segundas.

- Determinar el grafo llamado resolvente del problema eliminando las variables de entrada y las aristas asociadas y direccionar las aristas desde los nodos que representan las relaciones, a las variables que serán calculadas por cada una de estas. Acto seguido se direccionan las aristas desde los nodos que representan a las variables hacia todas las relaciones aledañas.

- El resolvente muestra de modo gráfico un algoritmo que se representa en diagramas de bloques o en diagramas N-S para ser programados con algún lenguaje de programación y obtener el software.

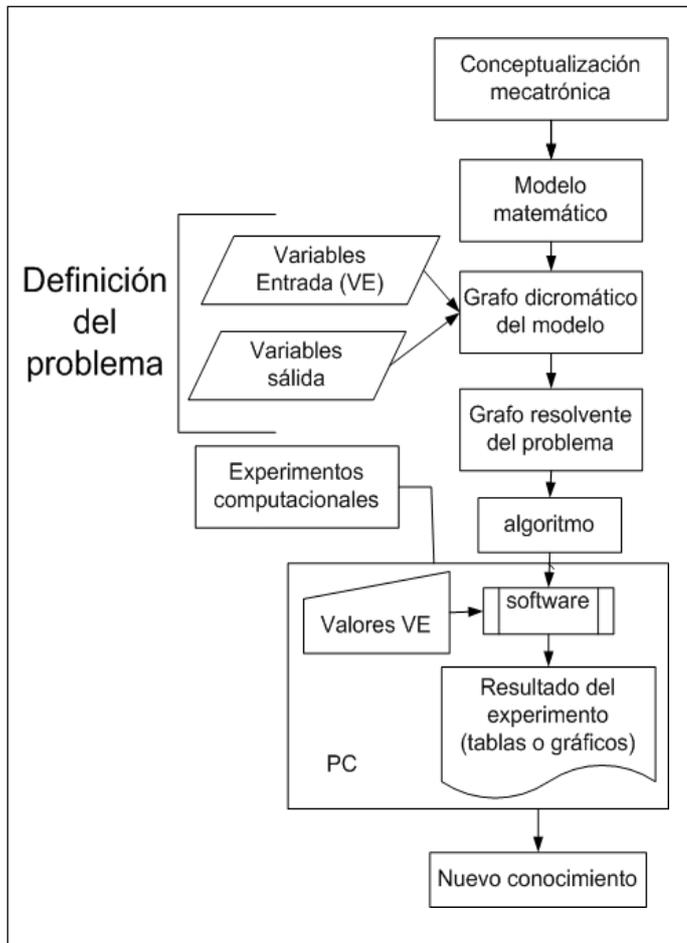


Fig. 4. Metodología para la obtención del nuevo conocimiento.

#### Etapa de los experimentos computacionales

Los experimentos en el laboratorio requieren de instalaciones y dispositivos de medición muy costosos además de un prototipo físico que se construye según las variables de entrada. Cada vez que en el experimento se necesita cambiar esas variables de entrada contenidas en el prototipo, hay que construir un prototipo nuevo lo cual incrementa los gastos para encontrar el nuevo conocimiento. Los experimentos computacionales convierten a las computadoras en herramienta para acercarse al nuevo conocimiento, además, reducen los gastos en tiempo y dinero para generar el nuevo prototipo, ya que con solo cambiar el valor de las variables de entrada VE (figura 4) al correr el

software (prototipo analítico), se conocen los valores de las variables de salida, con lo que se logra anticipar regularidades potenciales reales del comportamiento del prototipo.

Las respuestas de las corridas se emplean para validar la hipótesis, ya que permiten conocer los límites del producto conceptualizado y también verificar si las soluciones propuestas son viables. Además, facilitan la toma de decisiones durante el desarrollo del proyecto. De ser refutada la hipótesis hay que reformularla, lo cual no es más que modificar la concepción del nuevo producto con el propósito de que satisfaga las expectativas para el nuevo producto desde el punto de vista de sus prestaciones y la factibilidad económica (figura 4).

#### Etapa de protección del nuevo conocimiento

Si la hipótesis no es refutada entonces se comienza a preparar la documentación establecida para proteger la paternidad de la invención del nuevo producto en la Oficina de la Propiedad Industrial.

#### Segunda fase

La segunda fase tiene el objetivo de generar el prototipo virtual. Las dimensiones del nuevo producto se establecen a partir de un proceso de preparación y toma de decisiones (optimización).

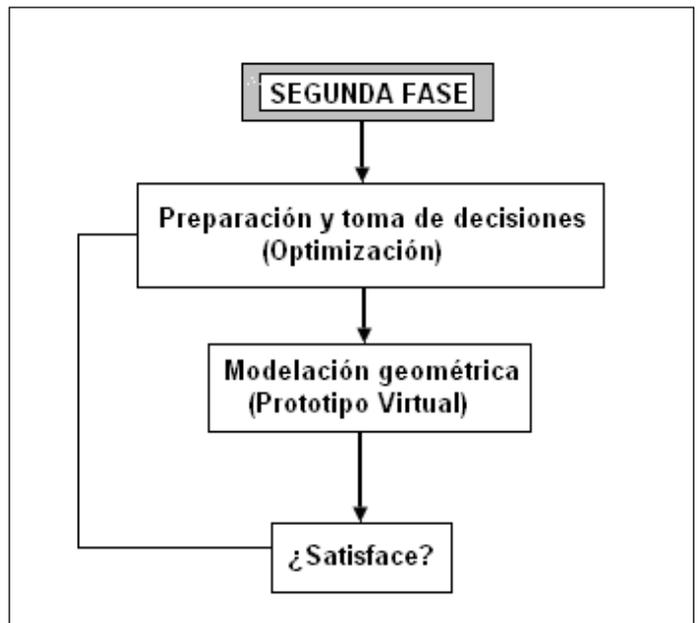


Fig. 5. Segunda fase del desarrollo mecatrónico de nuevos productos.

Esta segunda fase está compuesta por las etapas explicadas a continuación.

#### Etapa de preparación y toma de decisiones

Los modelos matemáticos de los productos poseen un conjunto de variables y de ellas, al establecer el problema, se elige el subconjunto de variables de entrada. El valor de cada una de estas variables se encuentra en un rango bien definido, ya sea por normas internacionales, la experiencia de los fabricantes o por el nuevo conocimiento adquirido.

En función del valor que se le asigne a cada una de las variables se obtendrá un producto con dimensiones o propiedades diferentes. Sin embargo, no todo cambio en las

variables de entrada genera los mejores valores de las variables de salida, lo cual plantea la necesidad de definir un algoritmo de optimización adecuado para elegir el mejor producto en función del sistema de preferencia impuesto. Ello se logra mediante la determinación de la función objeto. Solo un subconjunto reducido de variables de entrada brindará el mejor comportamiento o conjunto de soluciones eficientes. Dentro de este conjunto de soluciones eficiente, el investigador y/o decisor elige uno que se constituirá en el nuevo producto.

#### **Etapas de la modelación geométrica (prototipo virtual)**

En esta etapa, con el algoritmo de preparación y toma de decisiones, se conforma una interface o una macro que bien pudiera ser en Visual Basic for Application (VBA) para un programa de modelación geométrica como *Inventor*, que permite realizar varias pruebas al modelo. Se genera así el modelo geométrico de los elementos de máquina y el ensamble, mostrándose en la pantalla de la computadora. El modelo en cuestión se puede animar para comprobar que no existe interferencia entre los elementos móviles y probar así que la hipótesis de trabajo planteada es válida al menos a nivel virtual.

#### **Tercera fase**

Si existen condiciones de factibilidad se pasa a la tercera fase del prototipo físico y su introducción y generalización en la práctica social productiva. Esta fase está conformada por cuatro etapas.

#### **Etapas de desarrollo del prototipo físico**

El éxito en la segunda fase del prototipo virtual conduce a la realización de pruebas a pequeña y mediana escalas para confrontar la hipótesis del proceso de innovación tecnológica con la práctica y ajustar o reconsiderar el diseño del producto y el plan de mercadotecnia, así como recibir una información preliminar de sus impactos. Entre otras se realizan:

- Pruebas físicas de funcionalidad técnica del prototipo.
- Pruebas de prototipo con clientes.
- Pruebas del proceso de producción.
- Evaluaciones preliminares de impacto.

#### **Etapas de realización de la innovación**

Esta es la etapa de fuego del proceso de innovación e incluye:

- La producción total a gran escala.
- El lanzamiento al mercado.
- La evaluación en condiciones reales de la hipótesis del proceso innovador.

#### **Etapas de reconocimiento social de la innovación**

En esta etapa se realizan evaluaciones generales satisfactorias por parte de la organización mediante análisis periódicos. La organización recibe asimismo muestras directas o indirectas del reconocimiento por la competencia a través de propuestas de colaboración, compra de patentes, abandono del mercado, reconversión hacia otros productos, procesos o servicios y otras muy variadas formas que

expresan el control del mercado por la organización como consecuencia de un exitoso proceso de innovación. La preferencia de los usuarios es otra evidencia del reconocimiento exógeno.

#### **Etapas de generalización**

Las circunstancias antes descritas propician la difusión y generalización del nuevo estado alcanzado en el arte tecnológico.

El *desarrollo mecatrónico de nuevos productos* aquí esbozado como modelo de innovación, difiere en algunos aspectos de otros modelos de innovación tecnológica. En primer lugar, porque caracteriza la innovación tecnológica como un complejo proceso de investigación transdisciplinaria que comienza con la detección de una situación problemática innovativa y culmina con la modificación socialmente útil y/o comercialmente ventajosa de dicha situación en la práctica mediante el desarrollo mecatrónico de un nuevo objeto técnico de innovación. En segundo lugar, porque la innovación se piensa en el espíritu de una *tecnología apropiada* lo cual supone no solo la realización de estudios de factibilidad técnica, económica y de mercado, sino también de factibilidad socioambiental y de entorno cultural.

La innovación tecnológica es efectiva y apropiada cuando se obtiene una solución técnica y económicamente factible que se aplica y difunde con éxito. Por supuesto, su éxito dependerá de la adaptación y adecuación a las necesidades concretas de la sociedad y las regularidades del entorno natural. Cuando el resultado del proceso de innovación ya no cumpla con los requisitos antes expuestos se procederá a su retiro del mercado y sustitución por un nuevo producto u objeto técnico.

#### **Desarrollo de nuevos productos mecatrónicos (Nuprome)**

La metodología para el desarrollo mecatrónico de nuevos productos es recomendable sí:

1. Se toma la decisión de construir endógenamente un producto apropiado para satisfacer una necesidad social con el objetivo de sustituir importaciones o aprovechar el conocimiento existente para generar nuevos empleos.
2. Se quiere sustituir un producto no apropiado en el mercado por un similar endógeno pertinente o reemplazar un producto que ya fue retirado por ser una tecnología obsoleta y la capacidad tecnológica disponible no satisface las exigencias mecánicas de todos los elementos de máquinas a fabricar.

El desarrollo de nuevos productos es el proceso de crear y lanzar al mercado productos originales, mejorados, modificados y marcas nuevas por medio de actividades de investigación y desarrollo (I+D). Con la aplicación de la metodología propuesta se introducen en el mercado solo productos modificados que podrían constituir nuevas marcas. El proceso de desarrollo de nuevos productos lleva implícito acciones de distintas áreas funcionales, investigación y desarrollo, marketing, producción, finanzas, etcétera.

### Aplicación de la metodología de desarrollo mecatrónico de nuevos productos

A continuación se muestra un estudio de caso vinculado al desarrollo mecatrónico de un hidromotor de pistones radiales. Se omite la modelación matemática, porque no es esencial para entender la referida metodología.

#### Etapa de la situación problemática innovativa

Se planteaba ante el grupo de profesionales la necesidad de un hidromotor de pistones radiales apropiado a las condiciones financieras del país.

#### Etapa de conceptualización

El conjunto de productos necesarios (CPN) estaba constituido por los motores de pistones radiales de las firmas Pleiger, Staffa, Sauer, Kayaba, Calzoni y Sai. Después de realizar un análisis de las posibilidades y características de los diversos hidromotores ofertados en el mercado, se determina que el hidromotor Staffa es el producto comercial apropiado (PCA) porque permite ser fabricado con la menor cantidad de modificaciones al emplear la capacidad tecnológica disponible. Los elementos marcados se muestran en la figura 6.

Los elementos marcados son:

- **La carcasa**, que no se puede fundir con las tuberías de alimentación incorporada, lo que no permite obtener el nivel de acabado que se exige para las paredes de los cilindros y minimizar las fugas entre cilindro y pistón.

- **El distribuidor**, por cuanto la tecnología de fundición disponible impide obtener los conductos internos con los acabados superficiales necesarios.

En esta etapa se aplicó el método de la ingeniería inversa al hidromotor Staffa (PCA). Al conceptualizar se sustituyeron las funciones de los elementos marcados con elementos normalizados y se introdujeron soluciones mecatrónicas para incrementar las prestaciones del producto y simplificar las soluciones constructivas.

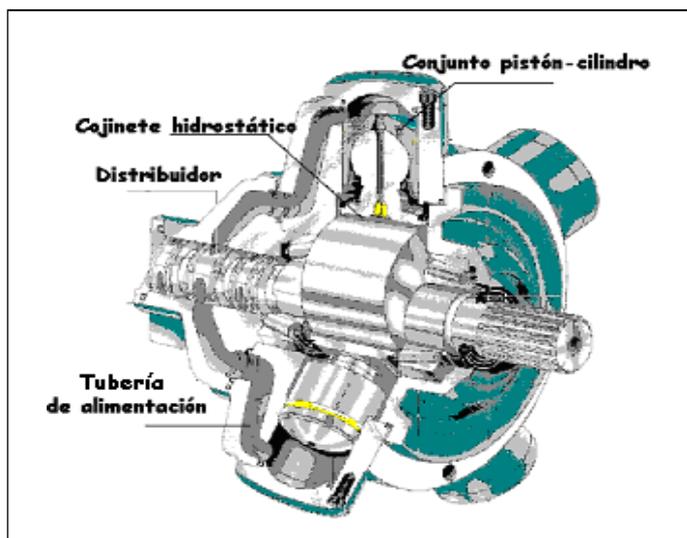


Fig. 6. Producto apropiado.

Entre los elementos marcados, la carcasa fue transformada de tal manera que sus cilindros se sustituyeron por tubos lapeados (elementos normalizados) y las tuberías de alimentación por tubos de acero y accesorios colocados externamente (elementos normalizados). Por su parte, el distribuidor, que sincroniza los cilindros en fase de trabajo con la línea de presión y los de desalajo con el tanque, fue sustituido por válvulas distribuidoras (elementos normalizados) V1 y V2 (figura 7). El componente mecatrónico de este desarrollo se materializó en los sensores de final de carrera y el PLC, que incrementaron las prestaciones, debido a que las válvulas distribuidoras normalizadas son más estancas que el distribuidor y las pérdidas volumétricas son menores.

El sentido de giro del hidromotor se puede variar a través de una orden dada al PLC a través del pupitre de mando y este energizará o no al solenoide "b" de la válvula "V3".

#### Etapas de modelación matemática y de conformación del prototipo analítico

Se dedujo el modelo matemático con 50 relaciones y más de 100 variables. [6] A este modelo se le plantearon varios problemas, obteniéndose diversos algoritmos, que fueron programados lográndose los siguientes prototipos analíticos:

- Simulación del funcionamiento.
- Geometría.
- Fuerzas.
- Masa del hidromotor.

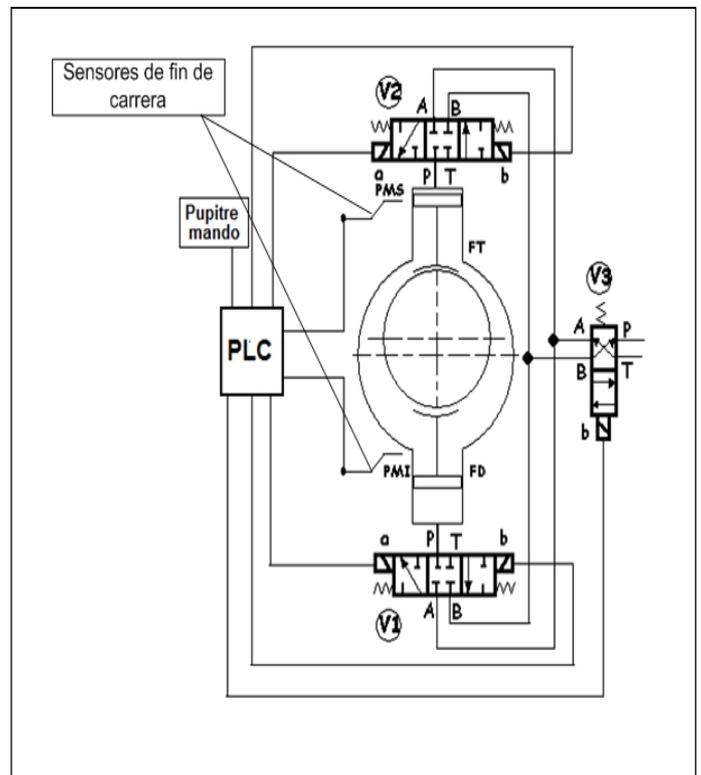


Fig. 7. Conceptualización mecatrónica.

**Etapa de experimentos computacionales**

Los experimentos computacionales tienen el objetivo de acercarnos al nuevo conocimiento indispensable para desarrollar el nuevo producto.

La figura 8 constituye un esquema donde se muestran dos dimensiones del hidromotor objeto de investigación: la dimensión principal  $lp$  y la excentricidad  $e$ , cuya relación  $R$  es determinante para estimar la eficiencia mecánica. Al correr el software (prototipo analítico de las fuerzas), cambiando el valor de las variables de entrada  $R$  y  $miu$  coeficiente de fricción entre cilindro y pistón se conocen los valores de las variables de salida.

El análisis realizado permitió establecer los valores de los parámetros para dimensionar el hidromotor al diseñarlo. El resultado del experimento computacional muestra cómo, cuando aumenta  $R$  y disminuye el coeficiente de fricción  $miu$  entre los elementos de estanqueidad de los pistones y los cilindros, la eficiencia aumenta.

Una característica distintiva de este nuevo producto son las válvulas distribuidoras para realizar la tarea de sincronismo, por lo tanto, se desconoce inicialmente cómo seleccionar el tamaño estas válvulas. Tras un análisis se determina que el parámetro relacionado con el tamaño de la válvula es la *eficiencia*. Entonces se realiza un experimento para determinar la influencia del tamaño de la válvula  $TN$  en la eficiencia hidromecánica del hidromotor en función de la velocidad de rotación. El resultado de este experimento se muestra en la figura 9.

El nuevo conocimiento extraído consiste en establecer que la selección de las válvulas distribuidoras para ser usadas en hidromotores con función de sincronismo, no depende del gasto máximo que circule a través de ellas (criterio de selección para circuitos hidráulicos), sino de la eficiencia hidromecánica que ellas generen en el hidromotor.

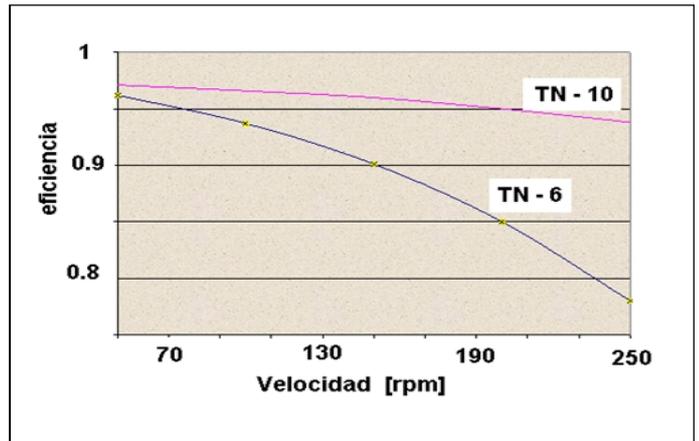


Fig. 9. Eficiencia hidromecánica en función del tamaño de la válvula.

**Etapa de preparación y toma de decisiones**

Entre los parámetros a los que más atención prestan los diseñadores de motores se encuentran la alta eficiencia y el bajo peso [7]. Guiándose por los resultados mostrados en la figura 10, para obtener alta eficiencia se impone una  $R$  lo más próxima a 15, el resultado obtenido es un motor muy eficiente pero con grandes dimensiones radiales lo que es lo mismo un motor con gran peso. Esto es contrario a lo impuesto por la tendencia actual del diseño, que exige hidromotores con una elevada densidad de potencia y además una alta eficiencia. Para resolver esta contradicción, hay que determinar la geometría de forma tal que se corresponda con un compromiso adecuado entre los valores estimados de los indicadores de eficiencia del hidromotor seleccionados (figura 10) a través de un algoritmo de preparación y toma de decisiones multivariables.

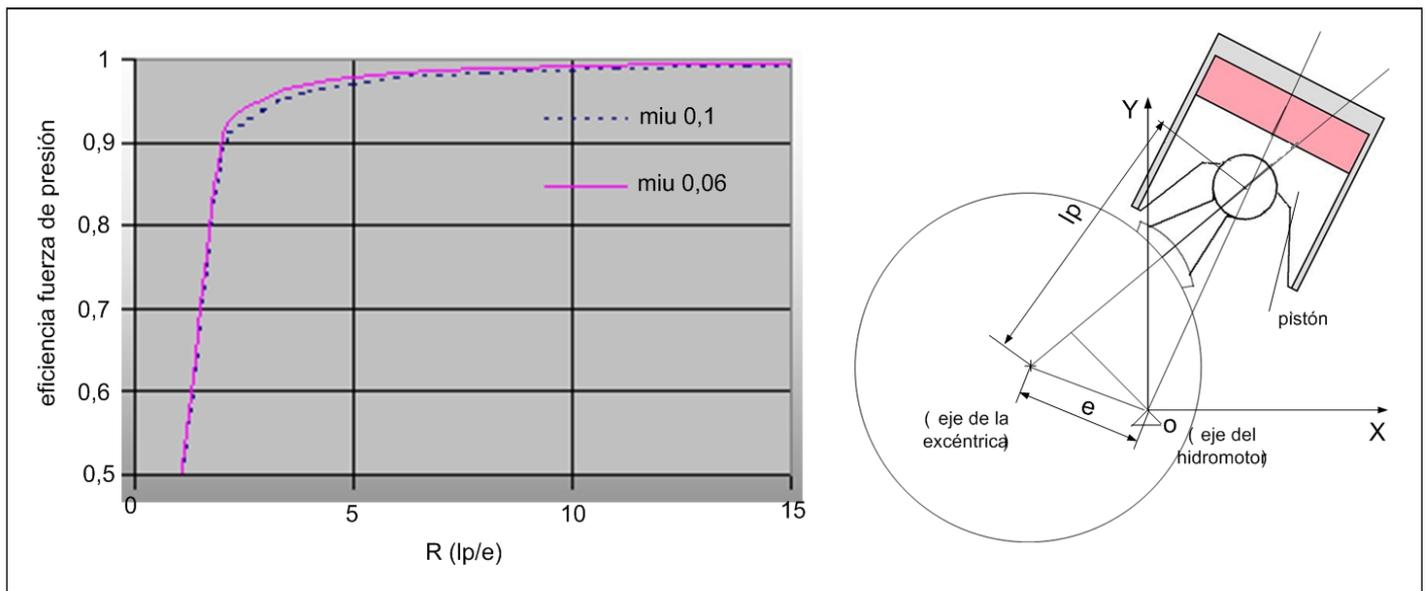


Fig. 8. Eficiencia de la fuerza de presión.

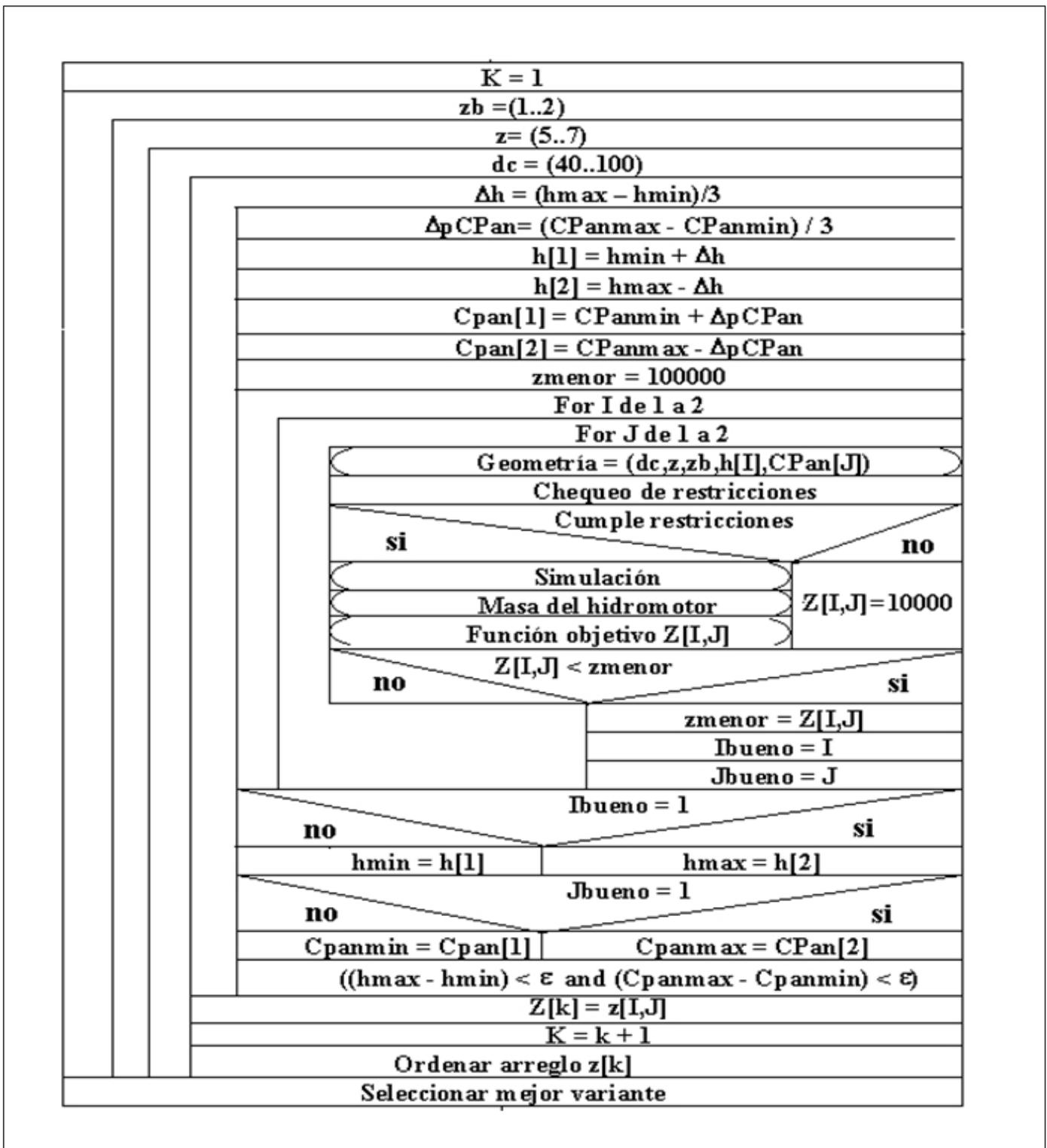


Fig. 10. Algoritmo de optimización de la geometría.

Los indicadores de eficiencia del hidromotor seleccionados fueron: *eficiencia total del hidromotor*, *momento de inercia reducido al árbol*, *masa total*. Las variables de decisión son tres discretas (*cantidad de cilindros*, *cantidad de bloques y diámetro del cilindro*) y dos continuas (*espesor de la película lubricante y longitud de la carcasa*).

En calidad de objetivo generalizador (o función objetivo) del problema se seleccionó la *minimización de la distancia ponderada de Tchebycheff* entre estos indicadores de eficiencia y sus valores ideales (o deseables).[8] En la solución del problema formulado, de optimización mixta, discreta-no lineal y bajo criterios múltiples, se utilizó el

método de búsqueda exhaustiva combinado con el método de exploración. [8]

El algoritmo de optimización se muestra en el Diagrama N-S. En él se constata el uso de prototipos analíticos desarrollados con anterioridad como el de la geometría, mediante el cual se calculan las dimensiones de todos los elementos, se seleccionan los elementos normalizados a emplear y también se determina uno de los indicadores de eficiencia: el *momento de inercia reducido del árbol*. El prototipo de simulación permite calcular las prestaciones del hidromotor y determinar otro indicador de eficiencia: la *eficiencia total del hidromotor*. El *prototipo analítico* de masa precisó el indicador de eficiencia de la *masa del hidromotor*.

En correspondencia con los métodos iterativos del análisis multicriterial aplicados, la metodología de toma de decisiones para este estudio de caso consistió en: dar valores iniciales a cada uno de los coeficientes de peso, luego, si el decisor considera aceptables los valores que se obtienen en la población de soluciones generadas, entonces selecciona la que estima como más adecuada de esa población. En caso contrario, se incrementa el peso del criterio que se desea mejorar y continúa el proceso hasta satisfacer plenamente el sistema de preferencias del decisor.

#### Etapa de modelación geométrica

La modelación geométrica tiene como propósito visualizar en pantalla la mejor solución. Con el prototipo analítico de Geometría se programa una interface, que podría ser en Visual Basic for Application (VBP), para obtener los modelos geométricos virtuales a través de un software especializado. Como resultado, se obtienen las imágenes, el prototipo virtual y sus piezas (figura 11), así como todos los planos de taller.

La figura 11 muestra cómo las piezas marcadas han sido eliminadas, lo que hace posible manufacturar el nuevo hidromotor con la capacidad tecnológica disponible.

Si en lugar de un CAD es usado un sistema CAD/CAM es posible generar las imágenes y además todo el paquete tecnológico necesario para la tercera etapa. La figura 12 muestra el diagrama de bloques con las decisiones a seguir.

La figura 13 resume el ciclo general que sigue el desarrollo mecatrónico de nuevos productos orientado a la capacidad tecnológica disponible.

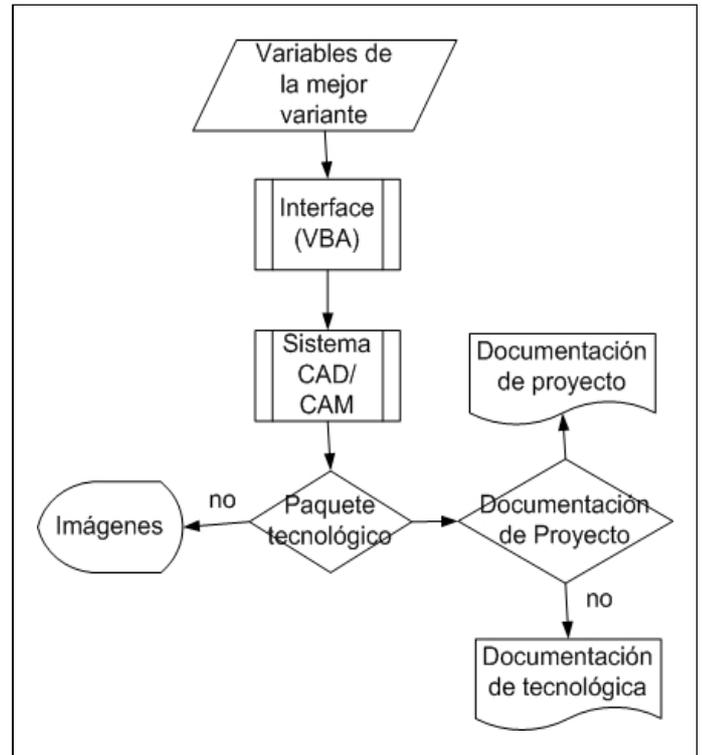


Fig. 12. Proceso de obtención del paquete tecnológico.

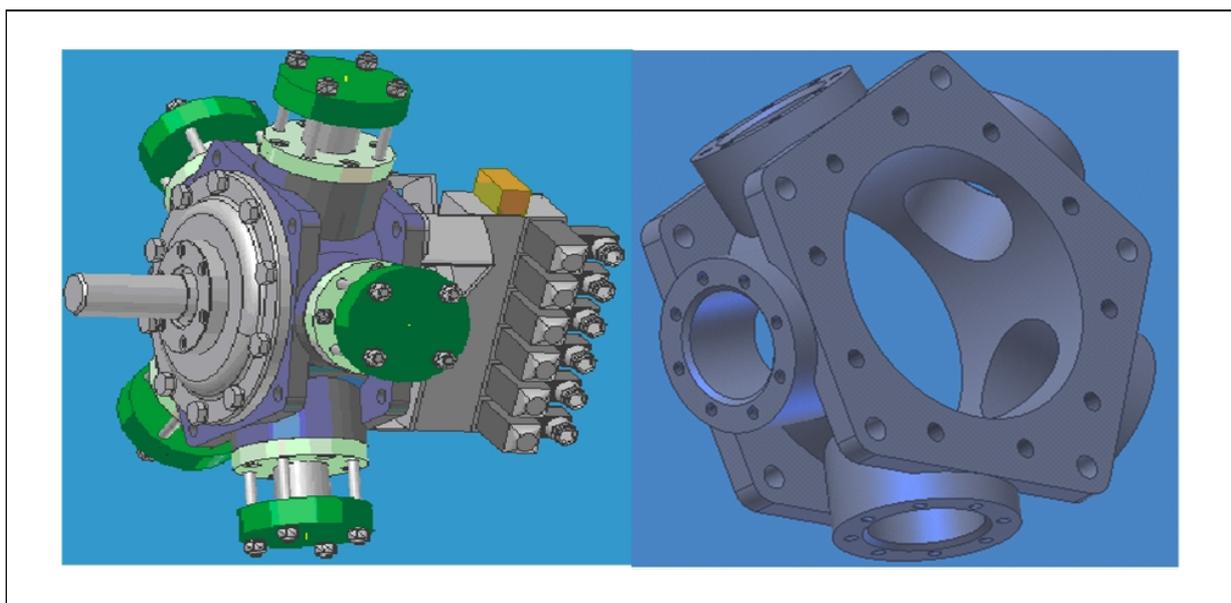


Fig. 11. Nuevo hidromotor mecatrónico y carcasa simplificada.

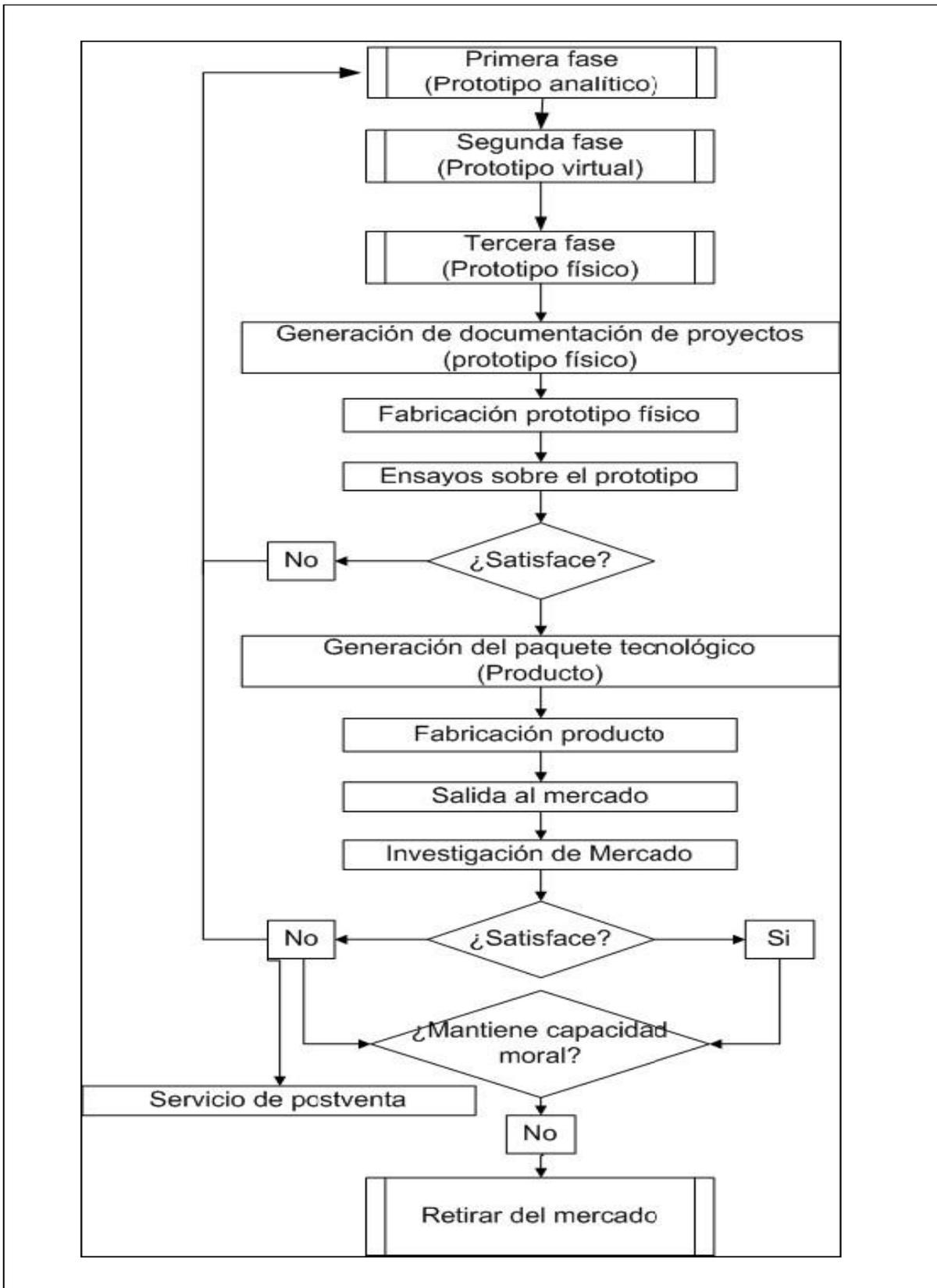


Fig. 13. Ciclo general del desarrollo mecatrónico de nuevos productos.

## CONCLUSIONES

El contexto internacional está caracterizado por las marcadas diferencias existentes entre los países y el enorme abismo tecnológico que los separa. Las naciones del Sur tienen la materia prima necesaria para su desarrollo sostenible, sin embargo, carecen en apreciable medida de la tecnología para modificar esos recursos y transformarlos en los bienes y servicios que necesitan, y se ven obligadas a comprarlos en los países del mundo desarrollado cuando estos se lo permiten y a precios agobiantes de monopolio.

Se manifiesta aquí una lógica absurda en la que el Norte compra cada día más baratas las materias primas al Sur y luego se las vende tecnológicamente transformadas en bienes. Esto demuestra el alto valor económico que posee la tecnología y la necesidad de desarrollar tecnologías endógenas en nuestros países. Sin embargo, no se puede hablar de desarrollo endógeno al margen de la innovación y transferencia de tecnología. La metodología de innovación tecnológica propuesta, basada en la mecatrónica, es una vía estratégica y factible para avanzar de manera efectiva en esta dirección.

## REFERENCIAS

1. **DÍAZ CABALLERO, J. R. Y ARANA ERCILLA, M.** "Metodología, Innovación e Ingeniería". *Tecnología y Sociedad*, t. I, ISPJAE-MES, La Habana, 1998.
2. **DÍAZ CABALLERO, J. R.** "De la situación problemática al problema de investigación". *Tecnología y Sociedad*, t. II, ISPJAE-MES, La Habana, 1998.
3. **MARCH CHADA, I Y LLORIA ARAMBURO, M.** "Análisis sectorial sobre el proceso de desarrollo de productos en PYMES españoles". <http://www.monografias.com/prototipado.doc>
4. **MARTÍNEZ, J.; GARCÍA, A. y ORTIZ, T.** "Algorítmica del diseño mecánico", *Revista Ingeniería Mecánica*, núm. 1, p. 31(5), sept, 1997.
5. **MOREJÓN VIZCAINO, G.** "Primera etapa del proceso de desarrollo de un hidromotor de alto par: Conceptualización y prototipo analítico", Tesis, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, La Habana, Cuba, 2004.
6. **ERICKSON, W.** "Motor Supplier Improves Machine Desing with VisSin modeling and simulation software". En: [www.fluid.power.net](http://www.fluid.power.net)
7. **ARZOLA, J.** *Sistemas de ingeniería*. Ciudad de La Habana, 2000. Ed. Félix Varela,
8. **ARZOLA, J. Y MOREJÓN, G.** "Diseño óptimo multiobjetivo orientado a la ingeniería inversa en el ejemplo de los motores hidráulicos". En XI Conferencia Latino - Iberoamericana de Investigación Operativa, Santiago de Chile, 2002.

## AUTORES

### Genovevo Morejón Vizcaíno

Ingeniero Mecánico, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular, Departamento de Mecánica Aplicada, Facultad de Ingeniería Mecánica, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

### José Ricardo Díaz Caballero

Licenciado en Filosofía, Doctor en Ciencias Filosóficas, Profesor Titular, Dirección de Ciencias Sociales, Grupo de Estudios Sociales de la Tecnología, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

### José Arzola Ruiz

Ingeniero Mecánico, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular, Departamento de Matemática, Facultad de Ingeniería Mecánica, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

## Mechatronic Developement of New Products Oriented to the Available Technological Capability

### Abstract

This paper proposes a technological innovation methodology denominated "Mechatronic development of new products oriented to the available technological capacity". It is shown as a study case of the development of hydromotors with radial pistons.

Key words: develop of new products, technological capacity, mechatronic, inverse engineering, technological innovation, research methods