



## Diseño en ingeniería orientada a la capacidad tecnológica disponible

Genovevo F. Morejón

Recibido: Julio del 2006

Aprobado: Septiembre del 2006

### Resumen / Abstract

Se presentan algunos de los resultados de la tesis doctoral: "Primera etapa del proceso de desarrollo de un hidromotor de alto par: Conceptualización y prototipo analítico". Se analiza un nuevo enfoque de diseño de ingeniería con gran interés para los países que poseen una baja capacidad tecnológica en su industria metalmecánica, denominado: Desarrollo de nuevos productos orientado a la capacidad tecnológica disponible. La característica distintiva de esta metodología es el empleo de la capacidad tecnológica contenida en los productos normalizados para diseñar otros con el objetivo de satisfacer necesidades sociales. Asimismo, se propone una aplicación sobre el desarrollo de un nuevo tipo de hidromotor de pistones radiales llamado, hidromotor con cilindros tubulares radiales (HCTR), el cual posee prestaciones competitivas y puede ser construido por los países del tercer mundo. El objetivo de este trabajo no es dar una explicación pormenorizada de la metodología, sino mostrar su existencia y la gran utilidad que esta posee.

Palabras clave: Desarrollo de nuevos productos, hidromotor, innovación, prototipos virtuales, diseño computacional, diseño en ingeniería, capacidad tecnológica, ingeniería concurrente

*This paper presents the work of a doctoral thesis on "First stage of the process of development of a hydro-motor of high torque: conceptualisation and analytic prototype". A new focus of design is discussed. It is convenient for the countries that possess a low technological capacity in industry. This new focus was nominated as the process of development of new products guided to the available technological capacity, and their distinctive characteristic is that it uses the technological capacity contained in the products normalised to design products to satisfy social necessities, that in another way they are impossible to design for their elaboration demands. In an application of this procedure, a new type of hydro-motor of radial pistons was obtained with competitive benefits that it can be built by the countries of the third world. The objective of this paper is not to give an itemised explanation of the methodology, But showing its existence and the great utility that this it possesses.*

*Key words: Hydro-motor, engineering design, computational design, development of new products, innovations, technological capacity, virtual prototypes*

### INTRODUCCIÓN

En este trabajo se presenta una nueva metodología de diseño de ingeniería, con gran interés para los países que poseen una baja capacidad tecnológica en su industria mecánica, dicha metodología se denomina "Desarrollo de nuevos productos orientado a la capacidad tecnológica disponible". La característica distintiva de esta metodología es el empleo de la capacidad tecnológica contenida en los productos normalizados para diseñar productos que

satisfagan necesidades sociales. Se propone una aplicación: el desarrollo de un nuevo tipo de hidromotor de pistones radiales llamado hidromotor con cilindros tubulares radiales (HCTR), el cual posee prestaciones competitivas y puede ser construido por los países del tercer mundo.

El objetivo de este trabajo no es dar una explicación pormenorizada de la metodología, sino mostrar su

existencia y la gran utilidad que esta posee. Los resultados demuestran que un sinnúmero de equipos y agregados pueden desarrollarse con dicha metodología.

El significado del concepto de **diseño en ingeniería** empleado en este trabajo es el de ABET (American Board for Engineering and Technology): El diseño en ingeniería es el proceso de crear o idear sistemas, componentes o procesos para satisfacer determinadas necesidades. Procedimiento donde existe toma de decisiones, y las ciencias básicas ingenieriles se aplican para convertir recursos en forma óptima a fin de cumplimentar los objetivos estipulados.

La definición empleada en este trabajo de tecnología en la industria metalmecánica es: la capacidad de una entidad productiva de transformar la materia prima, con el objetivo de lograr un producto final, que sea el ensamble de un conjunto de piezas con determinadas formas, dimensiones y otras exigencias técnicas como acabado y dureza superficial, etcétera.

La capacidad tecnológica en la industria metalmecánica es la posibilidad de una entidad productiva de transformar la materia prima, para lograr un producto final, cuya elemento más exigente satisfaga los requerimientos impuestos por un determinado grado de precisión (IT), mientras más bajo sea este grado de precisión mayor será la capacidad tecnológica.

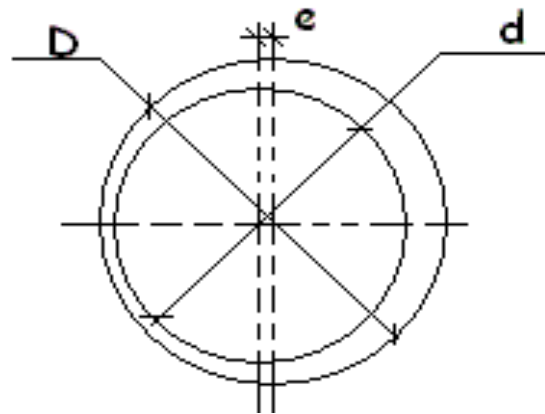
Durante la fabricación de sistema hay que garantizar que se entreguen las prestaciones de diseño con el objetivo de garantizar la satisfacción de la necesidad social que originó dicho desarrollo y esto depende de la capacidad tecnológica empleada que como constituye una necesidad se la llama **capacidad tecnológica necesaria**. En la figura 1 se muestra un esquema de ensamble del conjunto cilindro-pistón de una bomba volumétrica, donde  $D$  y  $d$  son los diámetros del cilindro y pistón respectivamente y  $e$  la excentricidad entre cilindro y pistón.

Para fabricar una bomba volumétrica de alta eficiencia volumétrica hay que reducir las fugas  $q_{fugas}$  y para esto es necesario según (1) reducir la holgura entre cilindro y pistón ( $D-d$ ) lo cual se consigue empleando altos grados de precisión para reducir las tolerancias ya que  $D = d$  y la excentricidad  $e$ , para lo cual hay que minimizar los errores de forma de pistón y cilindro, lo cual se logra también empleando altos grados de precisión, esto demuestra que la capacidad

tecnológica necesaria depende de las prestaciones esperadas en el ente a fabricar. Ver figura 2.

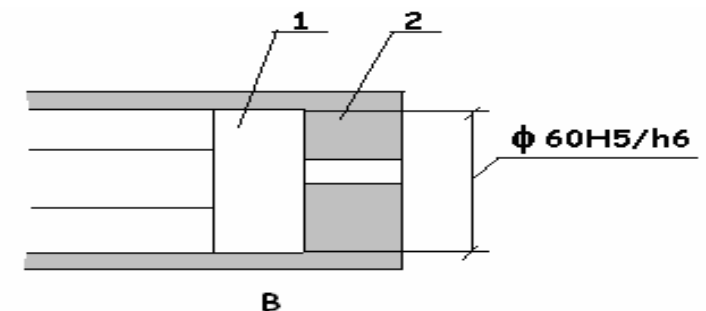
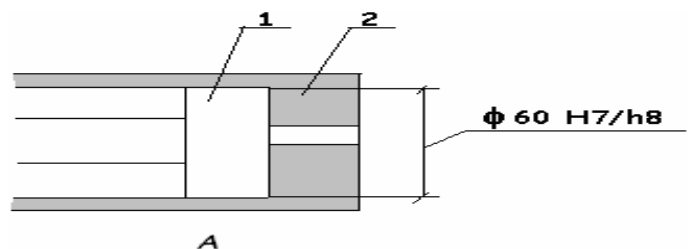
$$q_{fuga} = \frac{0,032 \cdot d \cdot (D-d)^3 \cdot \Delta p}{\mu \cdot l} + \left( 1 + 3 \cdot \left( \frac{e}{D-d} \right) \right) \quad \dots(1)$$

La afirmación anterior indica que cuando la capacidad tecnológica disponible es inferior a la necesaria, esto impide que las prestaciones del ente a fabricar estén en correspondencia con las exigidas.



Excentricidad entre cilindro y pistón.

1



Soluciones de igualdad de forma, pero con diferentes grados de precisión.

2

## PROCESO DE DESARROLLO DE NUEVOS PRODUCTOS ORIENTADOS A LA CAPACIDAD TECNOLÓGICA EXISTENTE

En este trabajo se parte de la definición de **proceso de desarrollo de nuevos productos** (PDNP)<sup>1</sup>: "El proceso de desarrollo de nuevos productos es el proceso de diseñar y lanzar al mercado productos originales, mejorados, modificados y marcas nuevas por medio de actividades de investigación y desarrollo". Según otros autores,<sup>2</sup> el proceso de desarrollo de nuevos productos lleva implícito acciones de distintas áreas: "Áreas funcionales implicadas, esto es, investigación y desarrollo, marketing, producción, finanzas, etcétera". Aquí solo se circunscribe a los conceptos del proceso del área de investigación y desarrollo.

### Proceso de desarrollo de nuevos productos orientados a la capacidad tecnológica disponible

Proceso de desarrollo de nuevos productos orientados a la capacidad tecnológica disponible es una nueva metodología de diseño que se define como: el proceso de crear y lanzar al mercado productos modificados por medio de actividades de investigación y desarrollo con el objetivo de satisfacer una necesidad social, empleando la capacidad tecnológica contenida en artículos normalizados, para compensar la inaptitud de la capacidad tecnológica disponible cuando es inferior a la necesaria.

Esta metodología de diseño se emplea, cuando el producto para satisfacer una necesidad social existe en el mercado, pero se toma la decisión de fabricarlo y la capacidad tecnológica disponible en la entidad que asumirá tal fabricación, es inferior a la necesaria. Las piezas o conjuntos que no se pueden fabricar con las precisiones exigidas con la capacidad tecnológica disponible se les denomina en este trabajo **piezas marcadas**.

### Primera etapa

La primera etapa del proceso tiene como objetivo la obtención de la mejor solución, virtualmente en esta etapa se pueden disfrutar de las bondades de la ingeniería concurrente,<sup>3-5</sup> y consta de los siguientes pasos:

**Selección del producto comercial apropiado:** Consiste en determinar sobre qué producto de los existentes en el mercado, es más factible realizar el proceso de desarrollo, teniendo en cuenta la capacidad tecnológica disponible y el garantizar prestaciones competitivas en el nuevo producto, además de determinar las piezas marcadas.

**Conceptualizar el nuevo producto:** Es formar una idea sobre el producto. De manera que el boceto obtenido muestre las soluciones constructivas básicas

y permita encontrar sus fortalezas y debilidades, además de realizar estudios sobre el producto, de forma tal, que se pueda definir su modelo matemático. Para esto se sustituyen los elementos que son imposibles de fabricar, del producto comercial apropiado por artículos normalizados con igual designación de servicio; aprovechando así la capacidad tecnológica contenida en ellos.

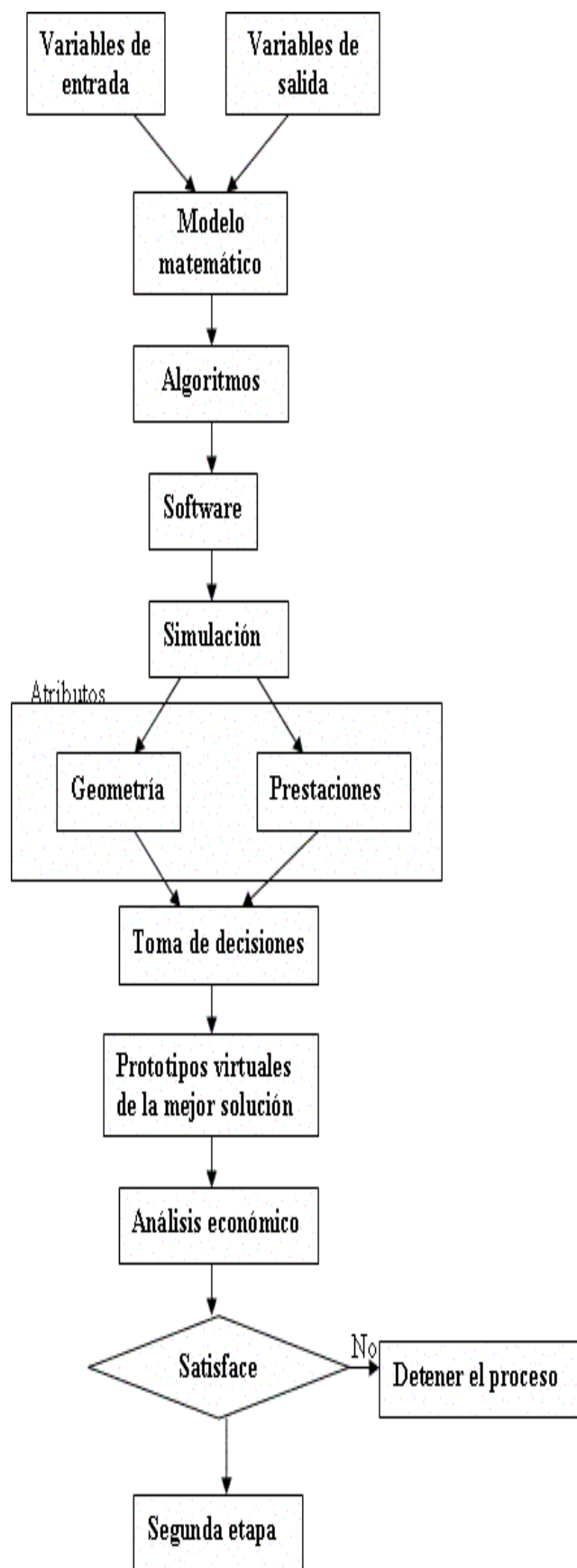
**Prototipos virtuales:** Un prototipo<sup>6</sup> es un ente tangible o no, que reproduce los atributos del producto ya sea de forma total o parcial. Según esta definición los algoritmos son prototipos virtuales ya que ellos permiten conocer atributos del producto cuando son corridos en las computadoras, además con estos atributos, como datos de entrada a software de realidad virtual, se puede visualizar partes, piezas y todo el conjunto, el cual también se puede animar. De esta forma es posible obtener virtualmente el producto a desarrollar. Los algoritmos se obtienen del modelo matemático del producto.

La realidad virtual<sup>7</sup> es: "Una manera para que los humanos visualicen, manipulen e interactúen con las computadoras y con información en extremo compleja". El aspecto de visualización se refiere a la alimentación auditiva, visual o a otros medios que se le dan al usuario de un "mundo" dentro de la computadora. Este mundo puede ser un modelo CAD.

**Análisis económico:** Tiene como objetivo fundamental decidir la factibilidad de continuar con el proceso de desarrollo del nuevo producto.

La parte del trabajo en la computadora comienza cuando del conjunto de variables del modelo matemático se selecciona un subconjunto de variables de entrada y otro de salida, y aplicando las técnicas adecuadas se obtienen los algoritmos, con lo cuales se realizan los programas de computación. Cuando estos son corridos se obtienen los atributos del producto que pueden ser: geométricos, prestaciones, etc. Aplicando técnicas de tomas de decisiones de todas las posibles soluciones se elige la mejor, con las valores de los atributos y aplicando técnicas de realidad virtual se visualiza el prototipo virtual de la mejor solución. Por ultimo, se realiza el cálculo económico con el cual se define la factibilidad de continuar el proceso de desarrollo del nuevo producto.

En la figura 3 se muestra el trabajo computacional de la primera etapa.



Tarea para el diseño computacional.

## HIDROMOTOR DE PISTONES RADIALES

En esta sección se explicará cómo se aplicó la primera etapa de esta metodología al desarrollo de un hidromotor de pistones radiales.

### Selección del producto comercial apropiado

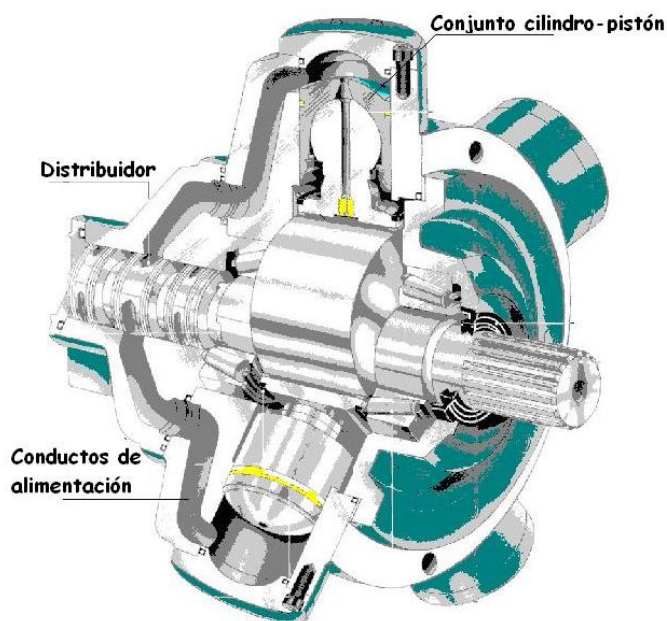
Se realizó un estudio de las marcas de hidromotores existentes en el mercado y por sus soluciones de diseño el hidromotor marca Staffa (figura 4), es el más apropiado para realizar el desarrollo.

Las piezas marcadas son:

- Distribuidor
- Conjunto cilindro-pistón
- Carcasa (conductos de alimentación)
- Par esférico entre pistón y biela

### Conceptualización del nuevo producto

En la figura 5 se muestran las soluciones constructivas básicas donde las piezas marcadas son sustituidas por elementos normalizados; el distribuidor es sustituido por válvulas distribuidoras y un hardware, el cilindro es sustituido por tubos bruñidos, y esta solución le da nombre al nuevo hidromotor: **Hidromotor con cilindros tubulares radiales**, el par esférico entre pistón y cilindro es sustituido por una esfera SKF, los conductos de alimentación son sustituidos por tuberías exteriores.



Hidromotor Staffa.

## Prototipo virtual

### Modelo matemático

El modelo matemático del hidromotor define la geometría total del hidromotor donde se incluyen las piezas, los conjuntos y el ensamble, las prestaciones en régimen estacionario y las fuerzas. Para deducir el modelo matemático se empleó el esquema de análisis y los conocimientos de diversas ciencias aplicadas tales como: Mecánica Teórica, Teoría de las Máquinas y Mecanismos, Hidráulica, Máquinas Volumétricas, etcétera.

El desarrollo completo del modelo matemático con sus respectivas deducciones se encuentra tratado por G. Morejón.<sup>8</sup> En la literatura consultada, no existe un modelo matemático, que se haya deducido, de forma tal que describa la geometría, fuerzas y prestaciones en un hidromotor. El modelo deducido tiene más de 100 relaciones y más de 100 variables

### Algoritmos

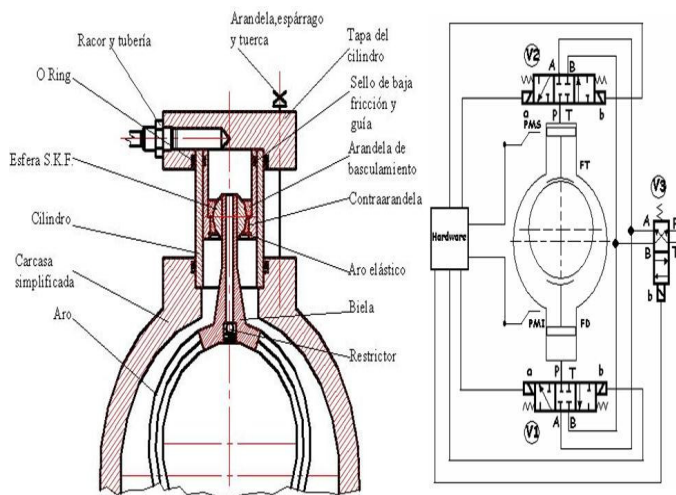
Los algoritmos se presentan en **diagramas N-S**, según explica P. Denses y V. Sergio.<sup>9</sup> Para definir los algoritmos a partir del modelo matemático se empleó el método planteado por Martínez, En la figura 6 se muestra uno de los algoritmos: Algoritmo del problema, fase de trabajo.

### Simulación del HCTR

En la figura 7 se pueden observar las curvas obtenidas con los resultados de la simulación.

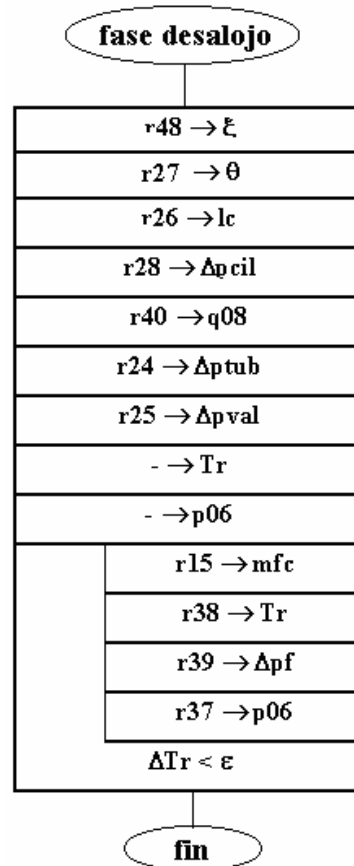
## Optimización de la geometría

En el cálculo anterior se dan valores concretos de las variables: Cantidad de cilindros por bloques, cantidad de bloques de cilindros, diámetro del cilindro, espesor de la película lubricante, semilongitud de la carcasa.



Boceto del nuevo hidromotor.

En realidad, para cualquiera valor de estas variables se obtienen resultados concretos de los indicadores de interés del decidor. El problema de geometría tiene 5 grados de libertad, correspondientes a estas variables.



Algoritmo del problema fase de trabajo.

6

Para decidir los valores más favorables de esas variables se requiere seleccionar los indicadores más adecuados. El estudio de este problema conduce a los indicadores expuestos en la tabla 1.

En calidad de objetivo generalizador (o función objetivo) del problema se selecciona la minimización de la distancia ponderada de Tchebycheff entre estos indicadores de eficiencia y sus valores ideales (o deseables):

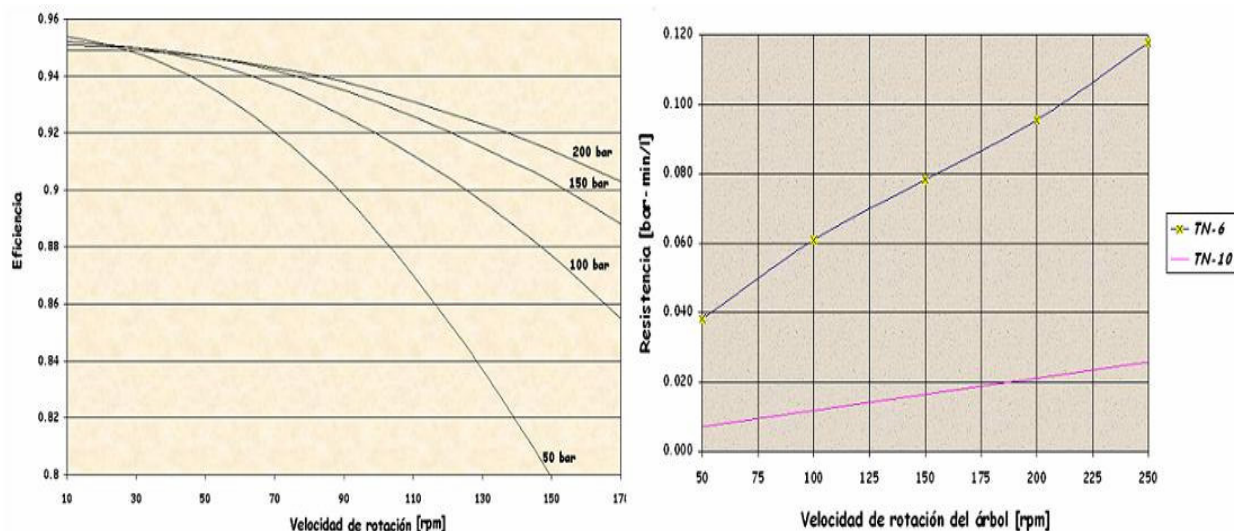
$$Z = \max \left\{ w_{\eta_t} \frac{|\eta_t - \eta_t^{id}|}{\eta_t^{id}}, w_{J_r} \frac{|J_r - J_r^{id}|}{J_r^{id}}, w_M \frac{|M - M^{id}|}{M^{id}} \right\}$$

donde:

$w_y$ : Coeficiente de peso del indicador  $y$ .

$y^{id}$ : Valor ideal (o deseado) del indicador  $y$ .





Curvas obtenidas con los resultados de la simulación.

7

Las variables de decisión del problema se muestran en la tabla 2.

En la solución del problema de optimización mixta, discreta-no lineal, bajo criterios múltiples formulados, se utilizan los métodos de búsqueda exhaustiva combinados con el de exploración. El algoritmo se expone en la figura 8.

En correspondencia con los métodos iterativos del análisis multicriterial, la metodología de toma de decisiones, en este caso consiste en lo siguiente: Se dan valores iniciales a cada uno de los coeficientes de peso; si al decidir le agradan los valores que se obtienen por la población de soluciones generadas, entonces selecciona la que prefiere de esa población. En caso contrario, incrementa el peso del criterio que desea mejorar y continúa el proceso hasta que se satisfaga plenamente el sistema de preferencias del decidor.

La utilización del algoritmo y el procedimiento de toma de decisiones explicado anteriormente permitieron seleccionar la variante virtual de motor HCRT mostrada en la figura 9, donde se observan, una vista de la carcasa modificada (A), una vista general del HCTR (B), y una instantánea de la animación (C).

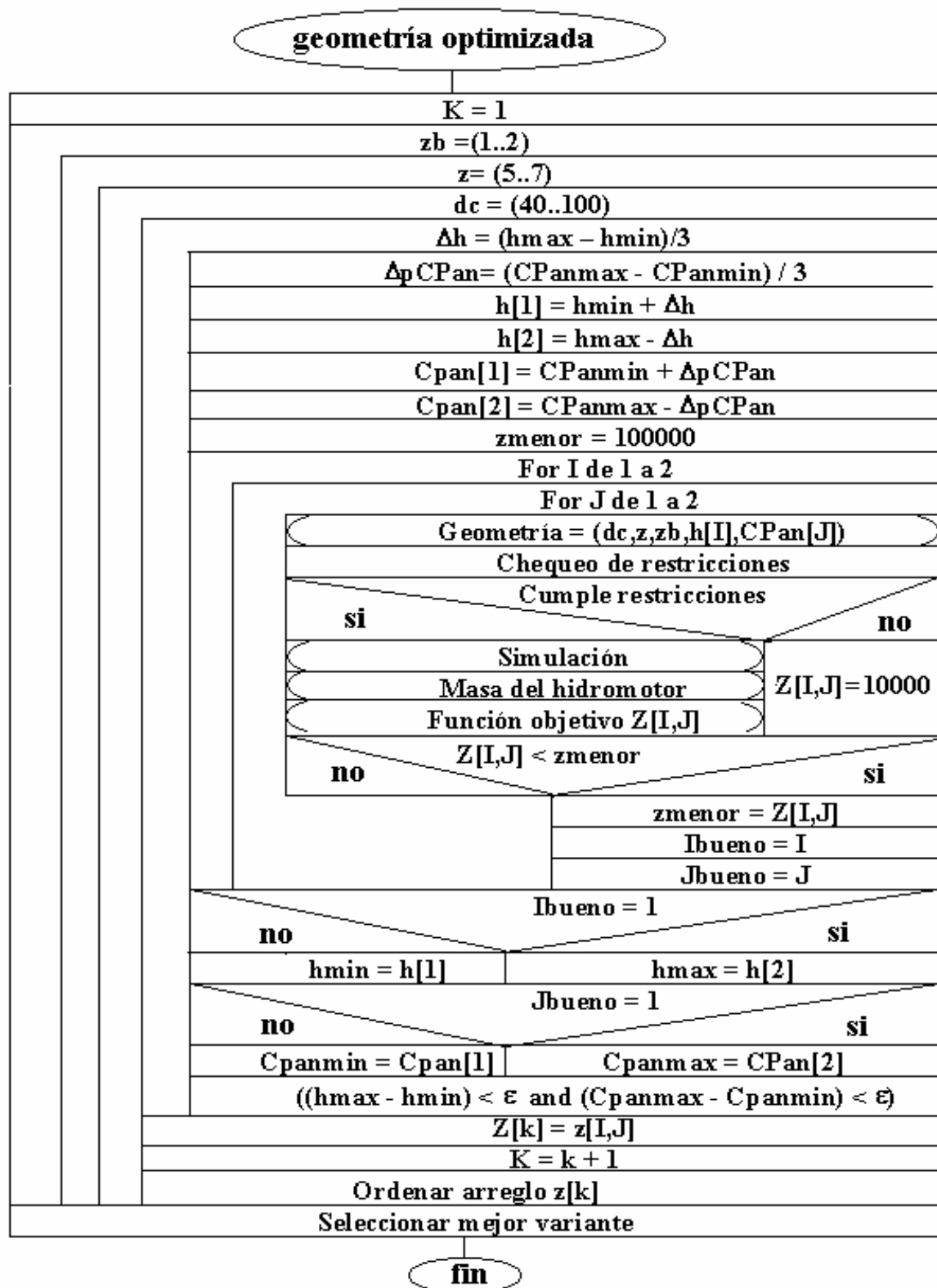
El objetivo de este trabajo no es dar una explicación pormenorizada de la metodología, sino mostrar su existencia y la gran utilidad que esta posee.

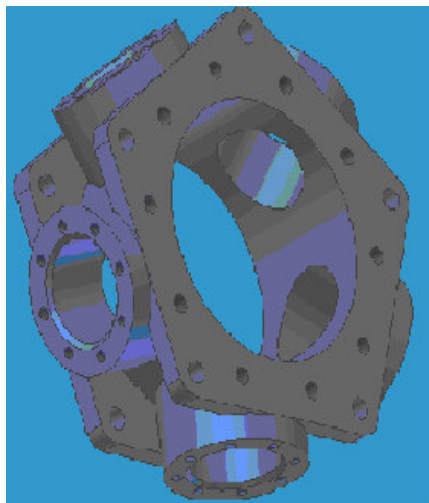
**Tabla 1**  
**Indicadores de eficiencia**

| Símbolo  | Denominación       |
|----------|--------------------|
| $\eta_t$ | Eficiencia total   |
| Jr       | Momento de inercia |
| M        | Masa               |

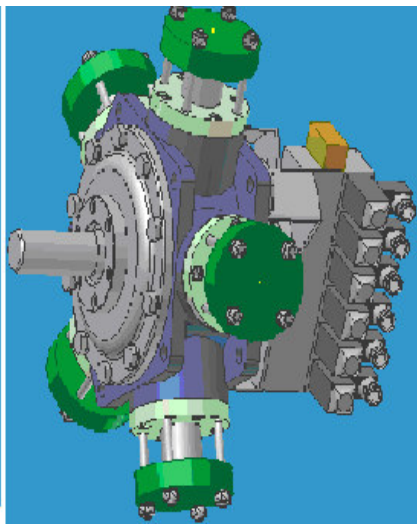
**Tabla 2**  
**Variable de decisión**

| Símbolo             | Denominación                      | Carácter de la variable |
|---------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| z                   | Cantidad de cilindros por bloques | Discreta                |
| zb                  | Cantidad de bloques de cilindros  | Discreta                |
| dc                  | Diámetro del cilindro             | Discreta                |
| h                   | Espesor de la película lubricante | Continua                |
| CP <sub>ancho</sub> | Semilongitud de la carcasa        | Continua                |

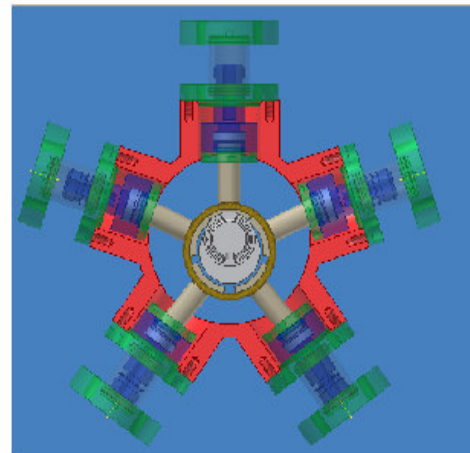




A



B



C

Prototipo virtual.

9

## CONCLUSIONES

- El trabajo cumple los objetivos propuestos de dar a conocer la nueva metodología y su utilidad, desarrollando un nuevo tipo de hidromotor con el empleo de esta tecnología.
- Esta metodología constituye un nuevo paradigma en el diseño de ingeniería.

## REFERENCIAS

1. **Braidot, P.:** *Marketing total*, 5ta ed., Macchi Grupo Editor, Buenos Aires, 1996.
2. *Estrategias de productos*. <http://www.rlc.fao.org/prior/desrural/mercadeo/cap5.pdf>. Bajado de Internet en octubre, 2003.
3. **García, F. P.:** *Ingeniería concurrente y tecnologías de la información* <http://www.uanl.mx/publicaciones/ingenierias/22/ingenieriaconcu.PDF>. Bajado de internet en febrero, 2004.
4. **Espinosa, M y M. Domínguez:** *La ingeniería concurrente, una filosofía actual con plenas perspectivas de futuro*. <http://www.plastunivers.com/Tecnica/Hemeroteca/ArticuloCompleto.asp?ID=659926k>. Bajado de Internet en enero, 2003.
5. **Aguayo, F y V. Soltero:** "Un enfoque desde la Ingeniería Concurrente", Coedición Alfaomega-Rama, Ciudad México, 2003.
6. **March Chada, I. y M. Lloria Aramburo:** *Análisis sectorial sobre el proceso de desarrollo de productos en PYMES españoles*. <http://www.monografias.com/prototipado.doc>. Bajado de internet en septiembre, 2003.
7. **Amad, Z.:** *La realidad virtual: Una herramienta para la educación en la ingeniería y en aplicación industrial*,

<http://www.uanl.mx/publicaciones/ingenierias/22/realidadvirtual.PDF>. Bajado de internet, febrero, 2004.

8. **Morejón, G.:** "Primera etapa del proceso de desarrollo de un hidromotor de alto par: Conceptualización y prototipo analítico", Tesis doctoral, Ciudad de La Habana, 2004.

9. **Denses, P, y V, Sergio:** *C++ Builder para universitarios*, Editora Paginas y Letras, Sao Paulo, 2002.

## AUTORES

**Genovevo F. Morejón Vizcaíno**

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

e-mail: [gmvizcaino@mecanica.cujae.edu.cu](mailto:gmvizcaino@mecanica.cujae.edu.cu)