

# Evaluación de indicadores subjetivos durante el diseño óptimo con objetivos múltiples de herramientas para la conformación de metales

**J. Arzola Ruiz\*, R. Simeón Monet\*\*, Raúl Santana Milán \*\***

\*UDM, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echavarría", Ciudad Habana, Cuba

e-mail: [udm@aacero.colombus.cu](mailto:udm@aacero.colombus.cu)

\*\*Centro de Estudios CAD/CAM, Universidad de Holguín, Holguín, Cuba

e-mail: [rsimeon@uho.hlg.edu.cu](mailto:rsimeon@uho.hlg.edu.cu)

(Recibido el 2 de febrero, aceptado el 2 de marzo)

## Resumen

En este trabajo se exponen de forma breve la aplicación de un Enfoque Integrador para el Análisis y la Síntesis de Sistemas de Ingeniería para la Preparación y Toma de Decisiones bajo Criterios Múltiples a la generación de tecnologías de conformación de metales en el ejemplo de dos sistemas desarrollados por el *Centro de Estudios CAD/CAM* en colaboración con la *Unidad Docente Metalúrgica del ISPJAE* en los que se utiliza el dibujo paramétrico tridimensional. Se trata del sistema *TROQUEL*, el que permite el diseño de troqueles de corte y punzonado simples y progresivos y del sistema *DiesFor*, el que permite el diseño de estampas de Forja, determinando y diseñando las herramientas para las etapas intermedias necesarias, en el proceso. Con el fin de una correcta evaluación de las opciones de solución ofertadas ambos sistemas brindan como resultado dibujos paramétricos de cada uno de los elementos, así como, los planos de conjunto y despiece correspondientes.

**Palabras claves:** Optimización multiobjetivo, deformación plástica, cad/cam, troqueles, forja.

## Introducción

A pesar de que el uso del plástico ha disminuido considerablemente el uso de piezas a partir del acero, la producción de piezas a partir de laminados y planchas sigue teniendo una actualidad muy alta. Las empresas encargadas de la producción de herramientas de conformar invierten fuertes cantidades de tiempo, recursos y personal de alta calificación para obtener diseños rápidos, variados y económicamente factibles. Sin ayuda de un sistema adecuado, en todos los casos, solo se analiza la solución de diseño fijada por el diseñador en un primer análisis, sin tener en cuenta otras posibles soluciones.

En la Unidad Docente Metalúrgica del ISPJAE ha sido desarrollado un Enfoque Integrador para el Análisis y la Síntesis de Sistemas de Ingeniería para la preparación y Toma de Decisiones bajo criterios múltiples (ver [1]). Entre otras aplicaciones, este Enfoque ha sido utilizado en el perfeccionamiento de sistemas CAD y CAPP desarrollados por el Centro de Estudios CAD/CAM

de la Universidad de Holguín. Entre los componentes del Enfoque Integrador mencionado se encuentran

metodologías desarrolladas para el Análisis de Sistemas de Ingeniería y la elaboración del proceso de preparación de decisiones. A partir de la aplicación de estos resultados al diseño de troqueles de corte y punzonado simples y progresivos y de herramientas de forja en estampas fueron concebidos y diseñados los sistemas DIESFOR (ver [2, 3]) y TROQUEL (ver [4]), en los que se ilustran las particularidades de explotación de los sistemas diseñados sobre la base del Enfoque mencionado.

Una de las líneas de investigación del Centro de Estudios CAD/CAM, de la Universidad de Holguín, es el desarrollo de sistemas encaminados a automatizar los diferentes procesos de la industria mecánica. Para aumentar la comprensión de los resultados, estos sistemas basan su trabajo en el dibujo paramétrico tridimensional y aplican procesos de optimización adecuados que permiten analizar gran número de variantes de soluciones, a partir de métodos matemáticos.

Durante el proceso de diseño no automatizado, o bien asistido por un sistema CAD convencional, de cualquier objeto, el hombre durante la creación piensa y se representa dicho objeto en vistas tridimensionales (3D)

y después la transfiere a representaciones en 2D auxiliándose de múltiples vistas. De hecho existen 5 razones fundamentales para el uso del modelado sólido 3D que son:

- Mejor visualización del diseño.
- Producción de dibujos automatizados.
- Revisiones del diseño más fáciles.
- Integración con aplicaciones de análisis y CNC.
- Tiempos del ciclo de la ingeniería reducidos

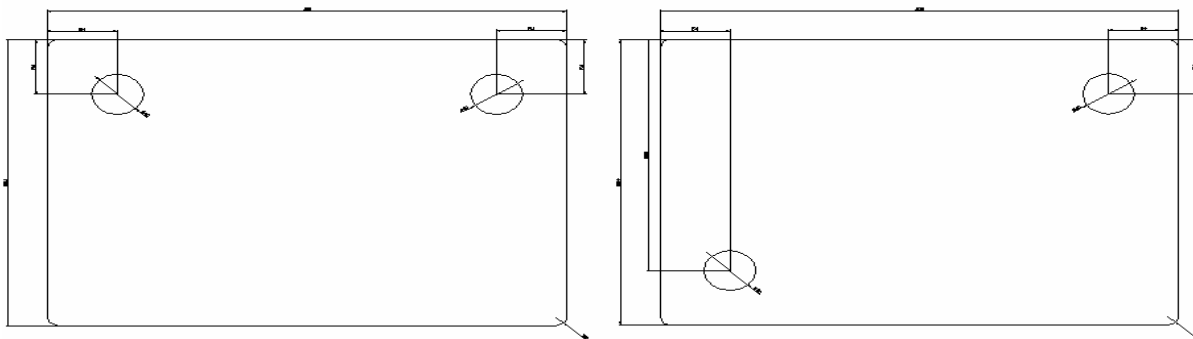
Durante el diseño óptimo multiobjetivo, asistido por un sistema automatizado para la preparación y toma de decisiones bajo criterios múltiples (ver [1]) el hombre evalúa las opciones de solución generadas por el sistema a partir de sus representaciones en 3 D, precisando esta evaluación con ayuda de vistas en 2 D. Como resultado del análisis de diferentes opciones puede requerirse la realización de modificaciones a la opción seleccionada. Esta selección y modificación posterior tiene que ver con la solución de una tarea de mayor envergadura relacionada con la utilización de la herramienta diseñada. En ausencia de un sistema automatizado para la solución de la tarea mayor esta selección responde

necesariamente a indicadores subjetivos del decisor (usuario del sistema de diseño).

El diseño de troqueles en 2D presenta la deficiencia que la generación de cualquier elemento requiere de la elaboración de cada vista de forma general y, posteriormente, del corte correspondiente con todo el engorroso análisis de la entidad asociada y el procesamiento de un gran volumen de información.

En los sistemas TROQUEL y DiesFOR se crean los sólidos con las cotas necesarias, en la posición adecuada para cada caso lo que permite obtener, para cada parte, el plano correspondiente con tantas vistas como sean necesarias para el fabricante.

Por su parte, el diseño paramétrico permite obtener varias configuraciones y variar un mismo diseño simplemente cambiando el juego de datos seleccionado. Este principio de trabajo es altamente utilizado en todos los sistemas modernos de la especialidad, por ejemplo, Mechanical Desktop de AutoDesk.



**Figura 1.** Bases Inferiores con parámetro Posición de Columnas diferente.

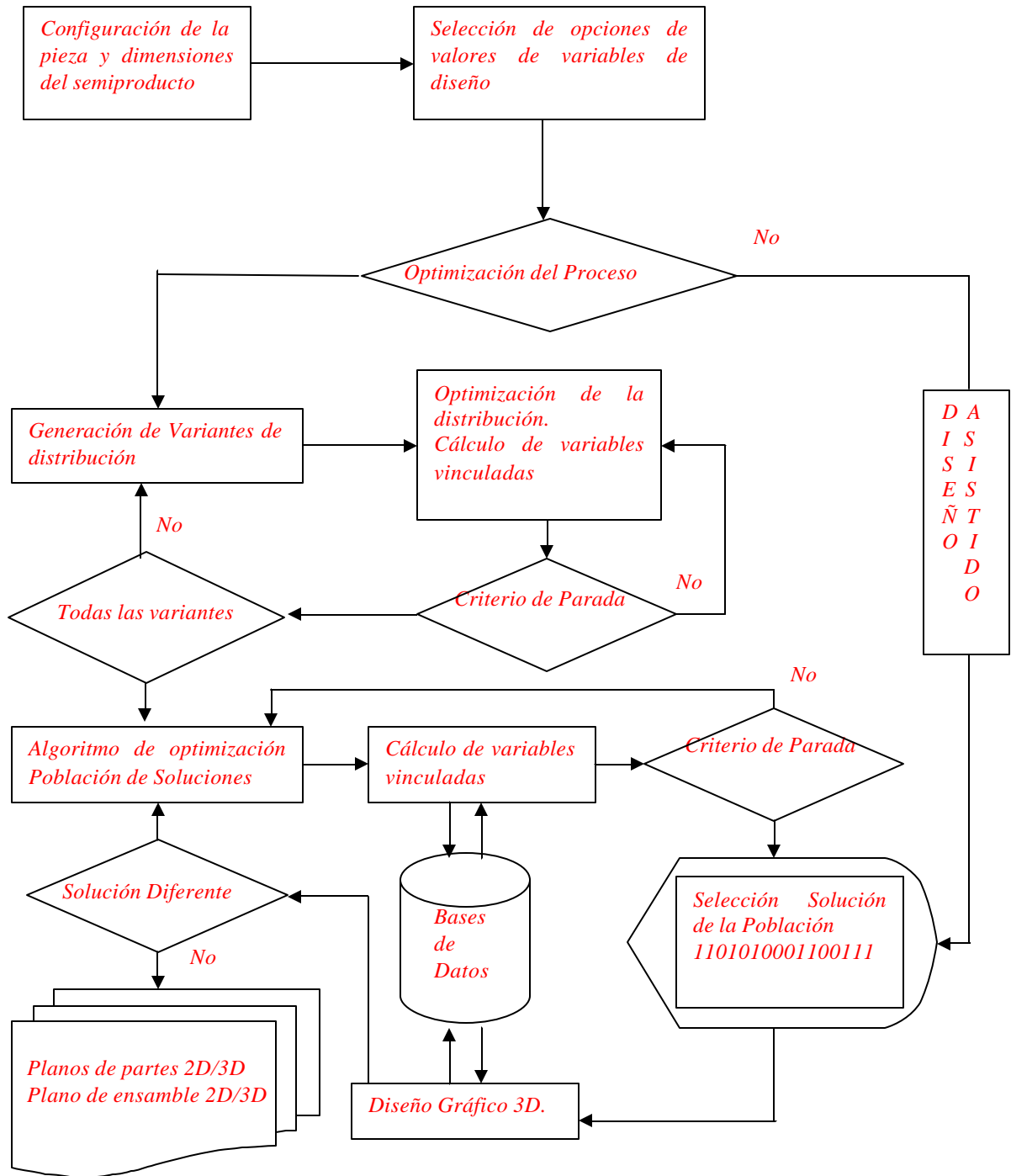
La Figura 1 muestra el diseño de dos bases de troqueles, con las mismas dimensiones pero con diferente posición de las columnas, obtenidas por medio de un mismo programa con un parámetro diferente.

## 2. Sistema TROQUEL.

Este sistema está destinado al diseño de troqueles de corte y punzonado simples y progresivos, su operación se rige por el esquema mostrado en la Figura 2. Este esquema desarrollado por los autores, introduce un proceso de optimización divididos en dos etapas, la primera durante la distribución de piezas en la chapa y la segunda durante la determinación de los diseños de troqueles factibles para obtener la pieza en sí. Esta

característica lo hace conceptualmente diferente a los esquemas de diseño de otros sistemas CAD, desarrollados con este fin.

El sistema Troquel 3D ha sido introducido con éxito en explotación en varias empresas de Cuba, vinculadas al diseño de troqueles de corte y punzonado simples y progresivos, siendo operado por especialistas en conformación de metales. En estas condiciones, el proceso propiamente de optimización, incluyendo la consideración del factor subjetivo no ha superado en ningún caso 15 min. Al mismo tiempo todo el proceso de diseño, incluyendo la generación de los planos de fabricación no demora, como regla, mas de 25 minutos de trabajo, para piezas de configuración compleja.



**Figura 2** Estructura funcional de los sistemas CAD para el diseño óptimo multiobjetivo de troqueles.

Veamos un esquema general de operación del sistema.

Se tiene una pieza, a la cual se desea obtener un troquel que sea útil para su fabricación. El análisis parte

de determinar el aprovechamiento del material, para ello se procede a la optimización del proceso de distribución de las piezas en el semiproducto, según la Figura 3.

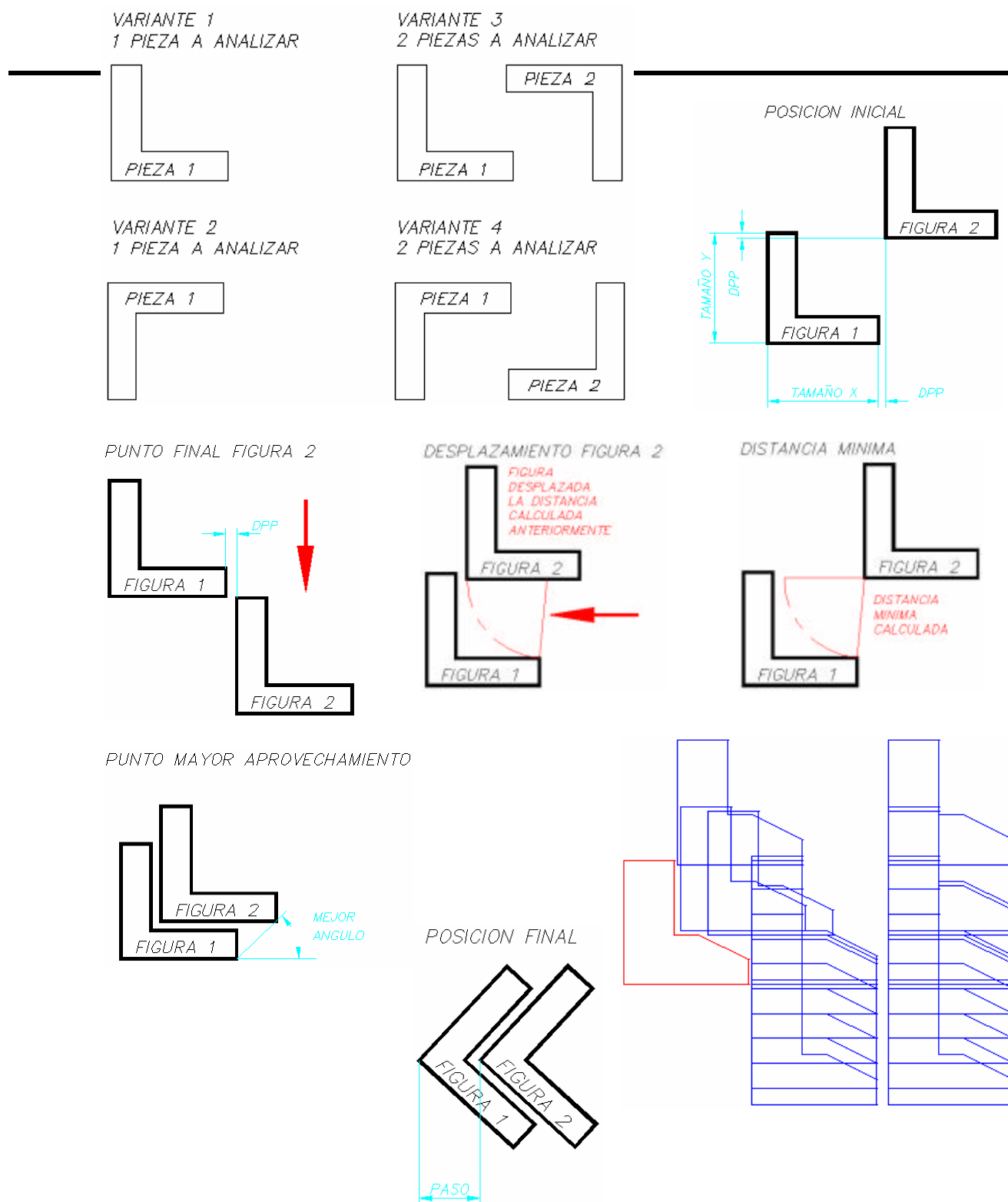


Figura 3. Optimización del proceso de distribución de piezas en el semiproducto.

Culminado este proceso se almacena, de cada variante, la mejor posición de la pieza y estos resultados se utilizan en la etapa de determinación de diseños que se aproximan por los valores de un conjunto de indicadores de eficiencia al sistema de preferencias del decisor, por medio de un proceso de optimización, que utiliza el método de los algoritmos genéticos.

Para ello se introduce un grupo de datos que relacionan, el tipo de prensa y las características del semiproducido (espesor, dimensiones de la chapa,

material, resistencia). Además, se establecen valores de coeficientes que reflejan la importancia relativa que concede el diseñador a los indicadores de eficiencia: aprovechamiento, productividad, fuerza, costo, durabilidad y acabado. En la Figura 4 se muestra la ventana utilizada para la evaluación de las soluciones generadas por el sistema del total de  $2^7$  variantes posibles.

**Soluciones de Troqueles**

Opciones...

11010111101111011  
11110111101111011  
11010111101111011  
11010011011111011  
11110011011111011  
11110111101111011  
11010111101111010  
11010111001111011  
11010011101110011  
11010111101110011  
11110011101111010  
11110111101111010  
11110011001111011  
111101111001111011  
11110011101110011  
11110111101110011  
11000101011111011  
110101111011110011  
11010011011110011  
11010111011111010  
11010111011111111

Valor Z: 0.035548

TTroq:

- ☐ C. Simple
- ☐ C. Libre
- ☐ P. Guia
- ☒ A. Colu.
- ☒ C. Direct.
- ☐ C. Indire.
- ☒ Re. Guia
- ☒ Pres. L.
- ☐ Col. Recta

DpCh:

- ☐ 1
- ☐ 2
- ☒ 3 Dist.
- ☐ 4 Dist.

Tip. Mat.:

- ☐ F. Incl.
- ☐ F. Recto
- ☐ M. Univ.
- ☒ Mixta

Columnas:

- ☐ Centrales
- ☒ Diagonal
- ☐ Traseras
- ☐ Multi.

Recorte

- ☐ 1 Pasad
- ☐ ReLat
- ☐ A. Manual

	Aprovecham.	Productivi.	Fuerza	Costo	Durabilidad	Acabado
Pesos	0.167	0.167	0.167	0.167	0.167	0.167
Ideales	77.641	168.000	23.050	2309.981	2400000.000	11.530
Mej. Sol.	77.641	84.000	23.050	2487.672	1200000.000	9.958

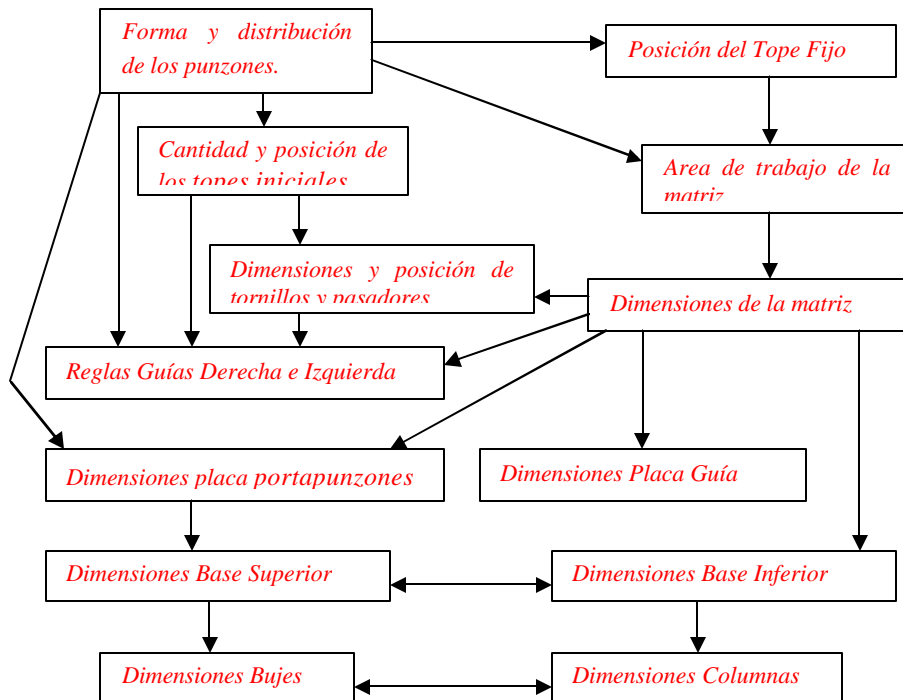
Precio Base: 698.462    Grado Complejidad: 3.95738    Precio del Troquel: 2764.080

OK    Cancel    Help    Info...    Pesos...

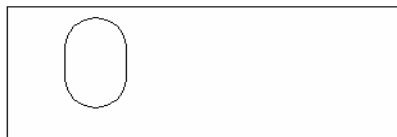
Figura 4. Resultados finales del diseño óptimo multiobjetivo.

Al seleccionar un diseño, se procede a la representación de las distintas partes que componen el troquel, comenzando por la distribución de punzones, la forma y dimensiones de la matriz (Fig. 6-8).

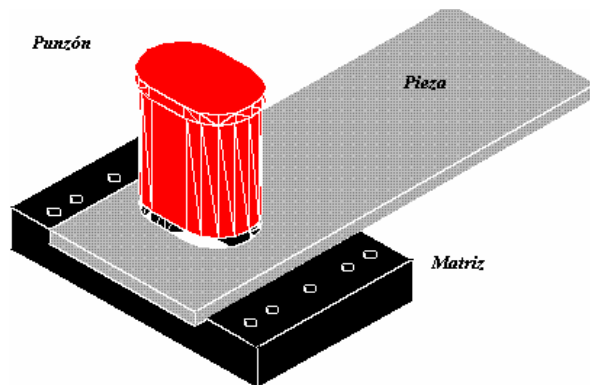
Durante el proceso de cálculo, cada pieza aporta a la que se relaciona con ella la información requerida para garantizar el montaje y funcionamiento correcto de la herramienta final. Este flujo se muestra en la Fig. 5.



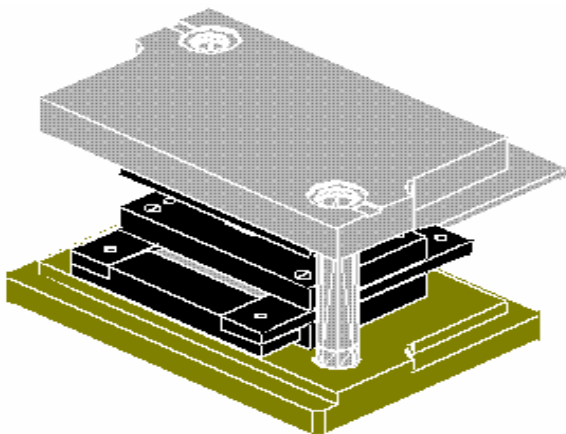
**Figura 5** Ganancia de información



**Figura 6.** Pieza



**Figura 7.** Partes principales del troquel (Pieza - Matriz - Punzón)

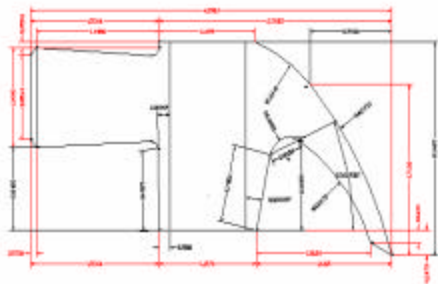


**Figura 8.** Troquel Completo

3. Tarea de diseño de estampas de forja

El diagrama de Flujo mostrado en la Figura 13 muestra el esquema elaborado de Preparación de decisiones, implantado en el sistema DiesFOR. Según puede observarse, se realiza un proceso de optimización discreta, por búsqueda exhaustiva y un proceso de optimización en variables continuas interno. Para cada combinación de valores de las variables de decisión generado se realiza el modelado geométrico del proceso de conformado y se calcula el valor de una función multiobjetivo lineal. Al concluir el proceso de optimización se ordenan las soluciones discretas obtenidas por el valor de la función de valor multiobjetivo obtenida. El decisor examina una a una las imágenes gráficas (en 2 y 3 D) de las soluciones ordenadas y selecciona y/o modifica la que mejor satisface su criterio completo de preferencias, en base a razonamientos tales como tecnologicidad del diseño, mantenibilidad de la herramienta, etc.

La concepción del sistema DiesFOR se corresponde por completo con el esquema de la Figura 13. En el ejemplo mostrado en las Figuras 9 - 12 se muestran los resultados del diseño completo de las herramientas para la obtención de la forma final de un martillo de uña forjado en caliente, para lo cual se hace necesario calcular una serie de parámetros que permiten desarrollar el juego de estampas durante cada una de las iteraciones del proceso de optimización con objetivos múltiples.



DIMENSIONES NORMALIZADAS DE MARTILLOS DE UÑA

MASA NOMINAL (kg)*	DIMENSIONES EN mm														
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	
140	80	40	35	6	11	16	16	13	35	18	3	30	23	3	
190	82	42	42	7	12	15	20	18	40	21	3	34	23	4	
240	92	49	46	11	11	22	20	15	40	18	3	32	30	4	
460	115	58	63	11	13	27	27	23	54	25	3	49	82	4	
560	121	65	60	13	14	28	30	26	52	28	3	52	40	5	

(\*) La masa y dimensiones tendrán una tolerancia de 5%

Figura 9. Parámetros del Martillo

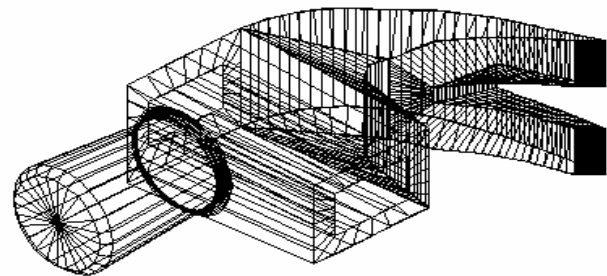


Figura 10. Modelo del Martillo

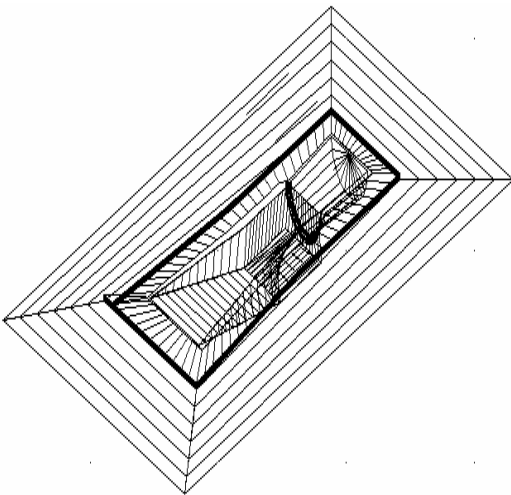


Figura 11. Estampa Superior

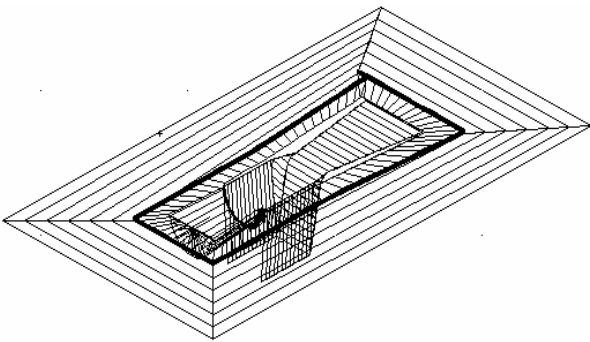
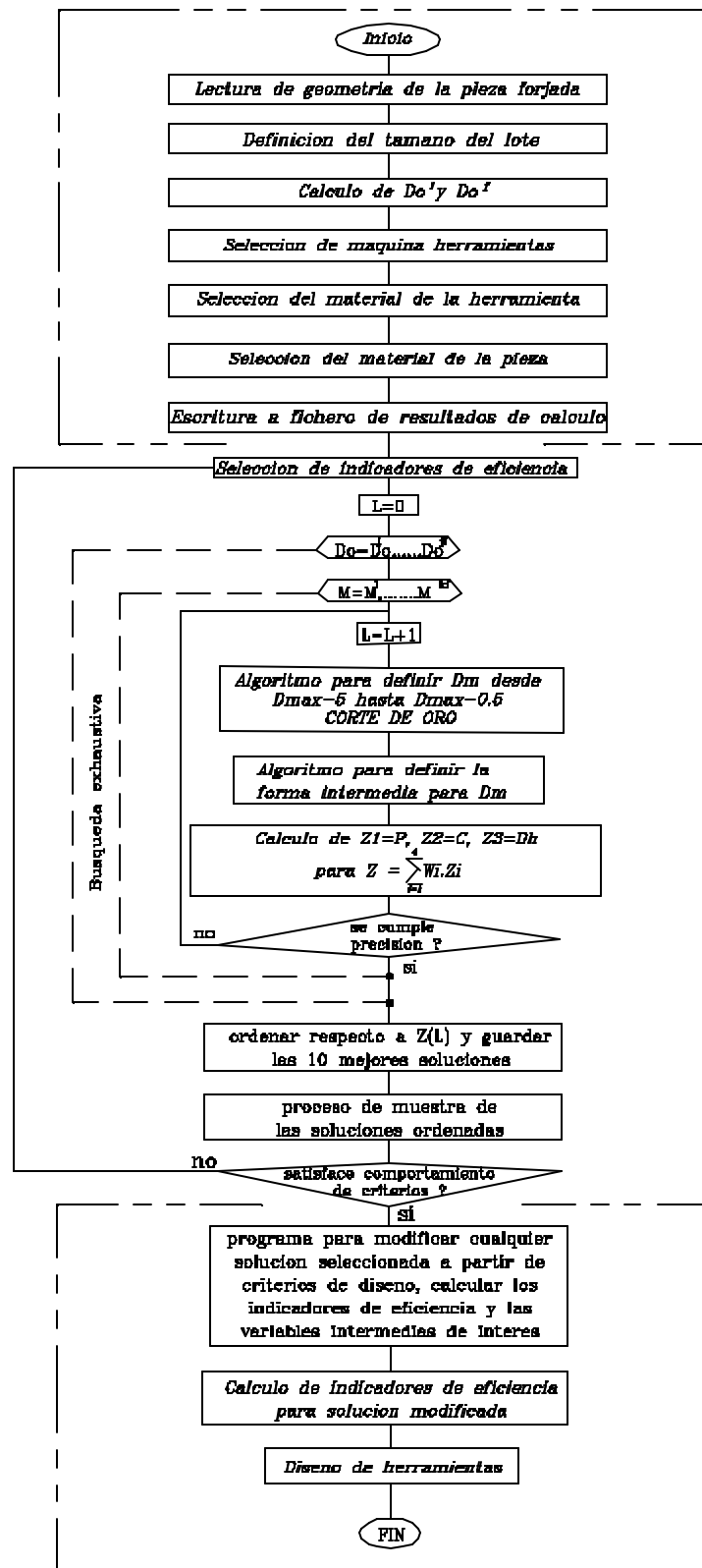


Figura 12. Estampa Inferior



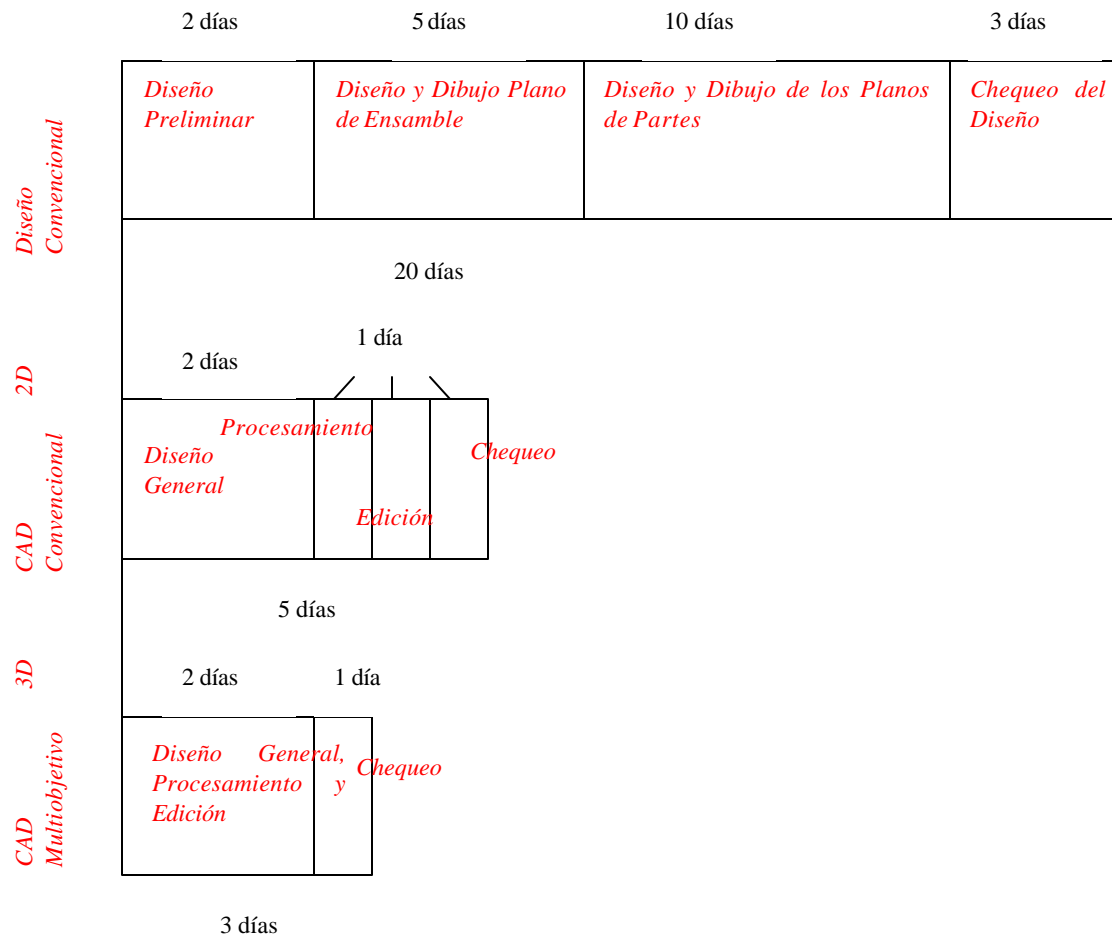


**Figura 13.** Procedimiento de Preparación de decisiones

## 12. Conclusiones

La evaluación subjetiva de las opciones de solución generadas como resultado de la optimización multiobjetivo requiere de representaciones gráficas de alta calidad. Con la utilización del diseño paramétrico 3D se logran niveles de eficiencia y efectividad para el modelado de las herramientas de conformar.

En comparación con los sistemas tradicionales el proceso se ejecuta con mínimos recursos de tiempo y personal capacitado y permite una evaluación técnica de las soluciones resultantes antes de tomar la decisión de fabricarlas. Las ventajas enunciadas en la introducción del trabajo quedaron corroboradas en los sistemas expuestos . Para trabajos de alta complejidad y el comportamiento del tiempo es el que se muestra según las diferentes etapas



## Evaluating subjective character indicators in the process of multiple objective metal conforming die design

### Abstract:

In this work are exposed, in a brief way, the application of an integrative approach for the analysis and synthesis engineering systems for preparation and making decisions under multiple criterions for metal conforming

technologies with the example of two concrete systems developed by *CAD/CAM's Studies Center* of Holguin University in collaboration with the *Department of Metallurgy* of José Antonio Echeverría Polytechnical Institute in which three-dimensional parametric drawing are used. The examples are: system *DIE*, which allows the design and progressive cutting dies and the system *DiesFor*, the one that allows the design of Forge Die, determining and designing the tools for the necessary intermediate stages in the process. With the purpose of a correct evaluation of the offered solution options, both systems offer parametric drawings as a result of each one of the elements, as well as, the group planes and corresponding despiece.

**Key words:** Multiple objective optimization, CAD/CAM, plastic deformation, dies, forge .

---

## METALURGIA.

### ESPECIALIDAD Y CURSOS DE POSGRADO.



#### Especialidad en Metalurgia

**Contenido:** La especialidad trata aspectos relacionados con la elaboración de metales, fundición y conformación de piezas.

**Coordinador :** Dr. Rogelio Zaragoza Valdés (Profesor Titular)

Centro : Unidad Docente Metalúrgica "Antillana de Acero". Facultad de Ingeniería Mecánica Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría"- Empresa Siderúrgica "Antillana de Acero" Calle 20 N° 10522, Cotorro, Ciudad de la Habana.

Teléfono: (537) 338554 Fax: (537) 338079

E-mail: udm@aacero.colombus.c.

**Asignaturas:**

- Informática Aplicada
- Problemas Ecológicos de la Metalurgia
- Metodología de la Investigación Científica
- Sistemas Ingenieriles Computarizados
- Cristalización y solidificación
- Combustibles y Refractarios
- Economía y Gestión de la Producción
- Matemáticas Avanzadas
- Aseguramiento de la calidad
- Sistemas de Mantenimiento
- Ciencia de los Materiales
- Química-Física Avanzada