

Diseño óptimo multiobjetivo y planificación del proceso de fabricación (CAD/CAPP) de redes de conductos de climatización

A. Cordovés García, C. J. Arzola Ruíz*, J. R. Hechavarría Hernández, M. R. Fernández Peña.

Universidad de Holguín. Centro de Estudios CAD/CAM

Ave. XX Aniversario, 80100. Holguín, Cuba.

Teléfonos: (24) 48 16 62, (24) 48 13 02 - Ext 45

Fax: (24) 48 18 43, (24) 48 16 62

E mail: cordoves@hlg.uho.edu.cu y jrhh@tauronet.cult.cu

* Unidad Docente Metalúrgica

Calle 20. Cotorro, Ciudad Habana, cuba

Teléfono: (7) 33 85 54 - Ext 45

E mail: aurora@aacero.colombus.cu

(Recibido el 21 de febrero de 1999; aceptado el 1 de marzo de 1999)

Resumen

La integración de las tareas de diseño y preparación de la producción del producto constituye una de las principales direcciones de trabajo de diversos centros de investigación tecnológica. La tendencia en este sentido es la utilización eficiente de la información asociada al diseño, en las etapas subsiguientes de creación del producto.

El sistema que se presenta efectúa el diseño óptimo automatizado de las redes de conductos para la climatización de locales a partir de la evaluación de los criterios fundamentales que determinan la eficiencia de la instalación; entre los que se destacan: el costo de producción, las pérdidas de carga y el nivel de ruido del conducto.

Durante la creación del diseño se pueden conocer los valores de los parámetros del fluido en cualquier punto de la red, así como obtener un listado clasificado de los componentes utilizados y del material necesario. La información geométrica y dimensional sobre los elementos de la red así como su necesidad, es transferida automáticamente desde la sección CAD a la de preparación de la producción, sección CAPP, la que se utiliza para organizar el corte definitivo del material, por métodos convencionales o con tecnología CNC de acuerdo a las posibilidades tecnológicas del usuario.

Palabras claves: Diseño óptimo, CAD, climatización.

1. Introducción

La microelectrónica, en el centro de los sistemas tecnológicos ha originado una transformación radical en la estructura y conceptos de las fábricas tradicionales. Se está pasando, de la producción de grandes lotes de artículos repetitivos a la producción cuya magnitud del lote económico tiende a la unidad con una gran variedad de productos y gran valor añadido en los marcos de una producción flexible, del procesamiento manual de la información al uso intensivo de la computadora en tiempo real, de la separación de funciones administrativas de producción y diseño en la empresa a la integración de funciones en un solo sistema interconectado. Se puede

afirmar entonces, que se están sucediendo cambios radicales en el diseño, los sistemas de manufactura y en general en la organización de la empresa.

Este proceso de cambio hacia la nueva empresa se ha caracterizado por el surgimiento de islas de automatización en alguna de esas tres áreas. Uno de los principales problemas al que ha habido que enfrentarse es el de la incompatibilidad en las entradas - salidas de información entre las islas de automatización de la empresa, esta dificultad se ha resuelto tradicionalmente con inversiones adicionales de tiempo y dinero.

En este sentido, se prefieren sistemas de manufactura integrados con la actividad de diseño, concebidos sobre modelos que aseguren el uso eficiente de la información

almacenada en el diseño del producto en las etapas subsiguientes de creación del producto.

Este sistema para el diseño y planificación del proceso de manufactura de redes de conductos almacena en la base de datos del dibujo la información básica que se utilizará posteriormente para efectuar los desarrollos en el plano de sus elementos componentes y la distribución racional de estos desarrollos en la superficie del material. Si se va a efectuar el corte en máquinas CNC, el sistema genera la trayectoria de corte con mínimo espacio recorrido de la herramienta.

El sistema CAD/CAPP concebido, aprovecha las ventajas gráficas y la estructura de datos de AutoCAD, con las posibilidades que ofrece el uso de datos extendidos a entidades de dibujo.

2. Desarrollo

2.1 Estructura del sistema CAD/CAPP para conductos

La planificación del proceso de manufactura puede ser definida como el subsistema responsable de la conversión de los datos de diseño en instrucciones de trabajo /7/. La planificación de procesos es el enlace entre el diseño y la fabricación. Así, los requisitos, exigencias y descripción dimensional establecidos al diseño sólo pueden ser convertidos a un lenguaje entendible por los sistemas de

El objetivo central de la planificación del proceso de manufactura es "alcanzar una elevada eficiencia económica de la producción a través de la optimización de las etapas del proceso, procedimientos y parámetros /3/. Los últimos avances en los sistemas CAPP están dirigidos a la planificación automática con ayuda de computadoras. Las exigencias principales planteadas al sistema CAD/CAPP para conductos, han sido las de lograr resultados optimizados en ambas etapas y un nivel de comunicación entre sus módulos que asegure el flujo de información exento de errores, desde el diseño de la instalación hasta la preparación de su fabricación.

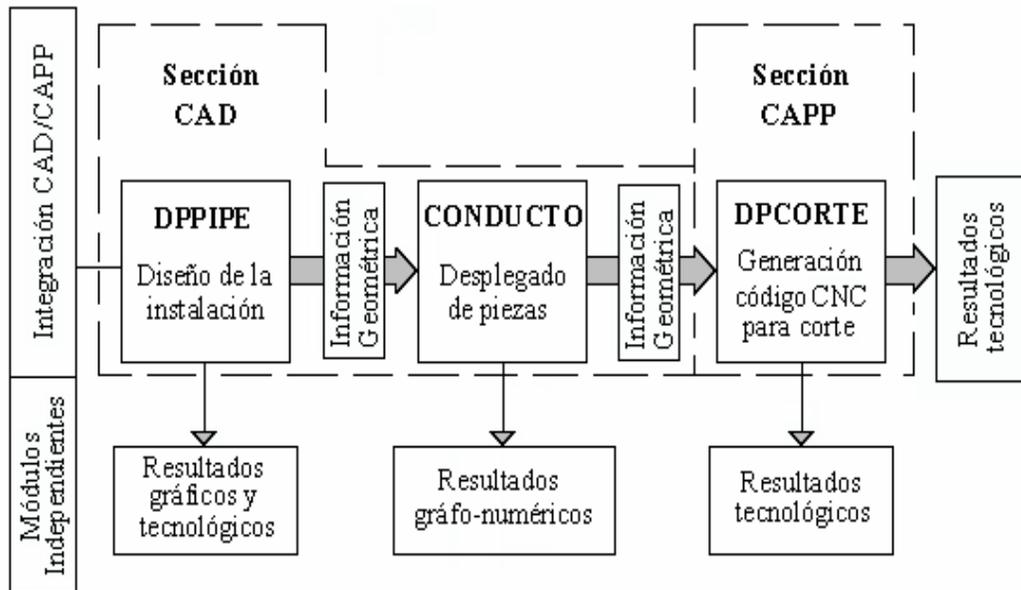
Desde el punto de vista estructural, el sistema está compuesto por tres módulos, que son:

DPPPIPE: Para el diseño de redes de conductos.

CONDUCTO: Para el despliegado en el plano, de los elementos de la instalación.

DPCORTE: Para la distribución de piezas y la generación del programa CNC en máquinas de corte.

Cada uno de estos módulos constituye también un sistema autónomo, es decir, pueden ser usados de forma independiente atendiendo a las disponibilidades tecnológicas. Sin embargo, los mejores resultados se obtienen a partir del uso del paquete integrado como un sistema, ver figura 1.



fabricación a través de la planificación de procesos.

Fig. 1: Estructura de un sistema CAP/CAPP para redes de conductos.

2.1.1. Descripción de los módulos

DPPIPE: Es un sistema para el diseño automatizado de redes de conductos para la circulación de fluidos a bajas presiones. Su principio de operación consiste en la definición de una *infolínea* que describe la trayectoria media del conducto y que contiene toda la información acerca de sus elementos componentes.

DPPIPE puede ser utilizado tanto para obtener nuevos diseños de redes de conductos como para efectuar el análisis y perfeccionamiento de redes existentes. En el primer caso, se emplean herramientas que aseguran el diseño óptimo automatizado de la red en locales tomándose en consideración las especificaciones introducidas por el usuario si existen. El resultado se presenta como una serie ordenada de soluciones constructivas obtenidas al evaluar integralmente los indicadores que determinan la eficiencia del diseño de la red, la que se determina a partir de la minimización de la siguiente ecuación.

$$Z = \omega_1 \frac{C}{C^{est}} + \omega_2 \frac{P}{P^{est}} + \omega_3 \frac{R}{R^{est}} \quad (1)$$

donde:

C, C^{est} : Costo Calculado y estimado de la instalación considerando los materiales empleados y los gastos de mano de obra.

P, P^{est} : Pérdida de presión calculada y estimada respectivamente al suministrar aire al local.

R, R^{est} : Nivel de ruido calculado y estimado respectivamente producido por el sistema.

W_1, W_2, W_3 : Importancia asignada por el diseñador a los indicadores C, P, R.

Las variables de decisión utilizadas por el sistema son:

- Perfil de cada tramo en el local.
- Material de cada tramo del conducto.
- Accesorios y dispositivos de entrada-salida de aire.
- Derivaciones y transformaciones de la trayectoria.
- Número de duelas en los codos circulares y de aletas directrices en codos prismáticos.
- Trayectoria a seguir por la red dentro del local.

Los indicadores no formalizables, de carácter subjetivo, del diseñador se toman en consideración de la siguiente forma:

- Durante la asignación de los posibles valores a las variables de decisión, el diseñador puede restringir las opciones de las soluciones posibles incluyendo la posibilidad de fijar su valor.
- Una vez generada una serie ordenada, por el valor de la función objetivo, de soluciones de posibles redes internas de cada local, el diseñador selecciona entre ellas aquellas que le parezcan satisfactorias.

El procedimiento descrito se realiza para todos los locales pertenecientes a cada ramal y el piso de la red estudiada. El criterio de selección para la mejor combinación de opciones por todos los locales de un ramal, piso y red es el de minimizar:

$$Z = \sum_{S=1}^n Z_k^s + \varepsilon(e) \quad / \quad e \in E \quad (2)$$

donde:

$E = (I_1 \times I_2 \dots \times I_n)$: Producto cartesiano de las opciones seleccionadas por el diseñador para todos y cada uno de los locales.

Z_k^s : Valor adoptado por la función (1) para la opción k_s del elemento "s" del sistema que forma parte de la combinación de opciones

$$e = (k_1, \dots, k_s, \dots, k_n)$$

$\varepsilon(e)$: Valor de las pérdidas totales asociadas a la combinación de opciones e considerando la trayectoria completa del ramal estudiado.

En la búsqueda del mínimo de la función (2) se utiliza el **método de Selección de Propuestas**, ver /1/.

En ocasiones se presenta la necesidad de mejorar los parámetros que entrega un conducto fundamentalmente los valores de gasto, velocidad y presión, con DPPIPE se crean facilidades para reconstruir el diseño de la red y efectuar el análisis dinámico del comportamiento de estos parámetros con la variación de elementos constructivos, tales como: el tipo de perfil, dimensiones de la sección transversal y el tipo de accesorio utilizado con el mérito de poder evaluar, con mínimos gastos, diferentes variantes constructivas y obtener la certeza de la efectividad del cambio antes de ser efectuado.

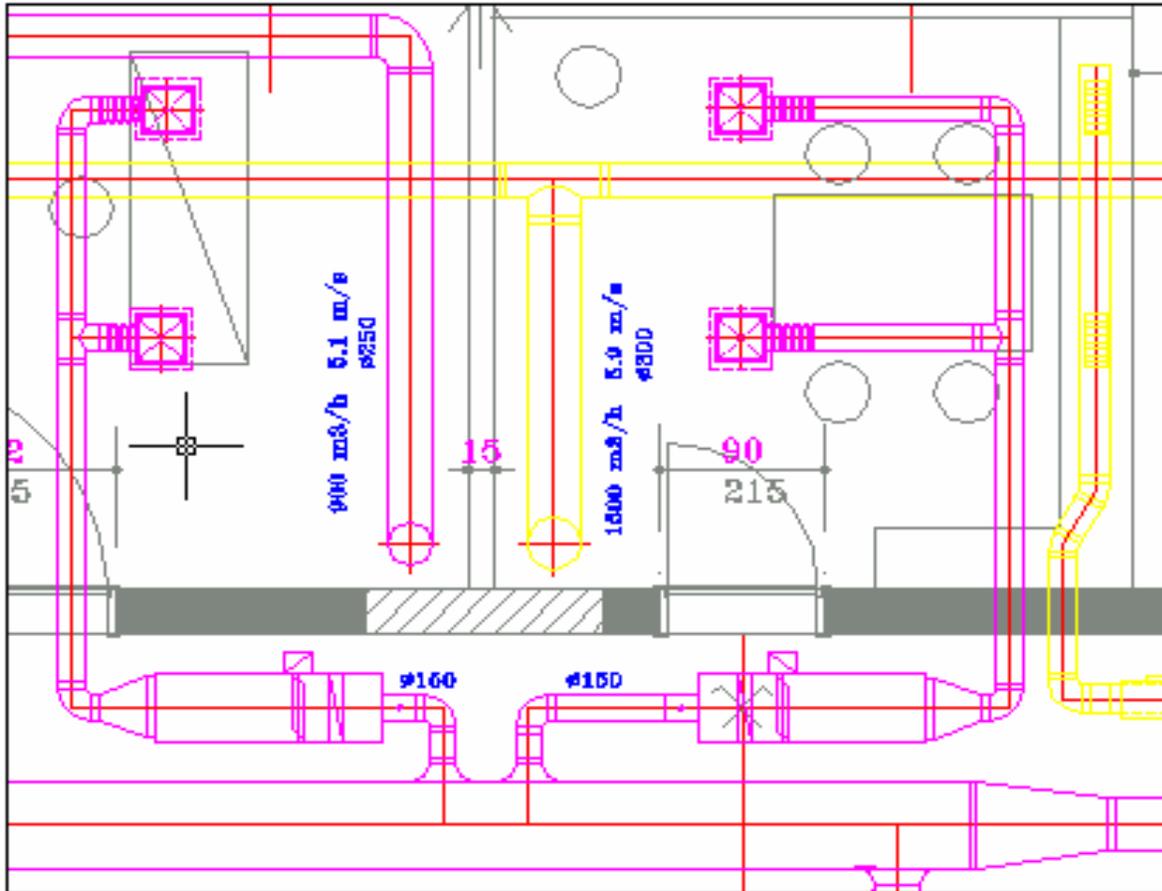


Fig. 2. Sección de una red de conductos para ventilación.

El diseño general de la instalación creado por DPPPIPE contiene toda la información geométrica y dimensional que se necesita para efectuar el desarrollo en el plano de los elementos que componen el conducto.

CONDUCTO: Posibilita el despliegado en el plano de piezas que se obtienen a partir de la chapa o de tubos. Si CONDUCTO trabaja integrado a DPPPIPE, el desarrollo de las piezas se efectuará de forma automática utilizando la información geométrica y dimensional que proviene del dibujo de la red. Si se usa el sistema como software independiente, habrá que introducir manualmente esta información, en cualquier caso estará presente la posibilidad del análisis de la variante más conveniente de desarrollo.

La entrega de los resultados se efectúa atendiendo a las características del equipamiento con que cuenta el usuario y puede ser a través de alguna de las siguientes vías:

- *Plano constructivo del desarrollo:* Opción destinada a usuarios con organización manual del corte de la

chapa. Contiene la información geométrica del desarrollo de la pieza y sus dimensiones principales, la indicación del origen de coordenadas cartesianas y una tabla con las coordenadas de los puntos característicos de la curva del desarrollo, así como la información del detalle de soldadura a emplear para la unión.

- *Información numérica para la sección CAPP:* Esta opción está destinada para los usuarios con máquinas de corte con Control Numérico Computarizado y la información será procesada por el módulo DPCORTE.

DPCORTE: Realiza la distribución racional de las piezas sobre la superficie del material y define la trayectoria del útil en máquinas de corte CNC de tecnología láser, plasma y electroerosión por hilo.

El submódulo de procesamiento de la geometría genera un programa en un lenguaje especial que es convertido a través

del postprocesamiento en programa CNC acorde al tipo de control del que dispone el usuario.

2.2. Nexos entre los módulos del sistema, organización del flujo de información

Con vista a asegurar el adecuado flujo de información entre los niveles internos y externos de cada módulo del sistema representado en la figura 1, se ha concebido un modelo que determina las relaciones de intercambio de información dentro de la sección CAD y entre ésta y la sección CAPP, el que se muestra en la figura 3. Este modelo asegura la utilización de la información almacenada en la base de datos de AutoCAD durante toda la etapa de diseño lo que garantiza la mayor consistencia y actualidad de los datos que serán procesados por la sección CAPP.

Durante el proceso de creación-actualización del dibujo del conducto se realiza el tratamiento gráfico de entidades y se mantiene un flujo bidireccional de datos entre la edición gráfica y la base de datos de AutoCAD.

El módulo de optimización del diseño del conducto utiliza durante el proceso de búsqueda una parte de la información existente en la base de datos de las entidades de dibujo. Posteriormente, una vez aprobada la variante de diseño óptima, se actualiza automáticamente la base de datos de las entidades gráficas procesadas. Durante el proceso de optimización se efectúan cálculos de pérdidas-ganancias de presión con el flujo de datos en dos direcciones entre estos submódulos. Para la presentación de los resultados de la optimización se transfiere información hacia las funciones de edición gráfica.

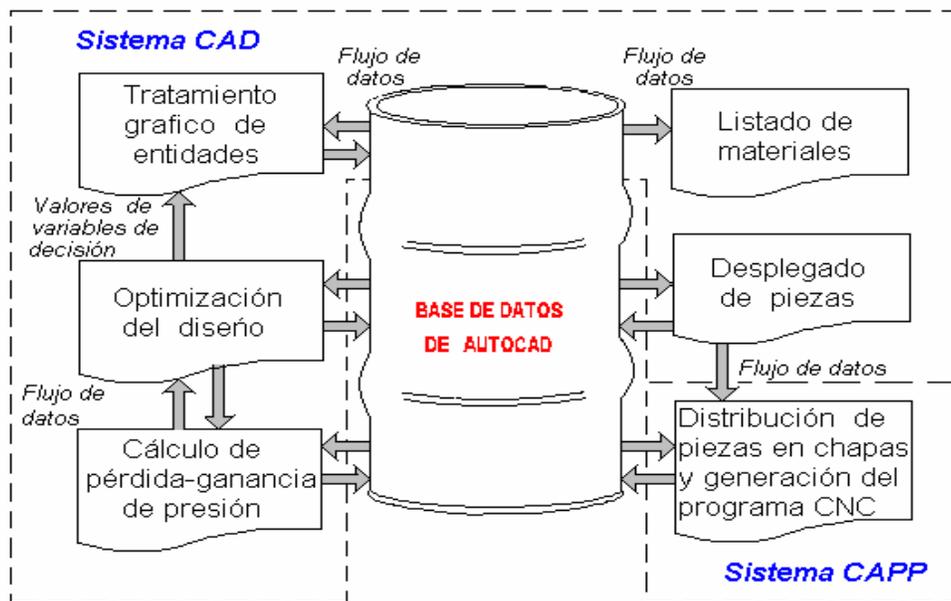


Fig. 3. Modelo que establece los vínculos informativos en la integración CAD/CAPP para conductos.

El sistema entrega el reporte clasificado de todo el material y los elementos que han sido usados en el conducto a partir de la información tomada del plano de la instalación. Por supuesto, en este caso, los datos viajan unidireccionalmente desde la base de datos hacia el módulo de preparación del listado de materiales.

El módulo de despliegado de los elementos del conducto, utiliza la información gráfica y alfanumérica contenida en los datos de las entidades que representan a cada elemento. Al efectuarse el despliegado se crean nuevas entidades que

constituyen los propios desarrollos del elemento. Como se observa, este proceso se cumple con la transferencia bidireccional de datos.

Por último, la información que entrega el módulo de despliegado de piezas hacia la sección CAPP se efectúa a través de un fichero con formato específico, entendible por el módulo de distribución de piezas en chapas y generación del programa CNC (DPCORTE). Este fichero contiene la caracterización numérica de la geometría de los desarrollos la que será utilizada para los cálculos matemáticos durante

la distribución racional de los desarrollos en la superficie del material. La presentación del resultado de la distribución se efectúa de manera gráfica al convertir ahora la información numérica en gráfica, dando lugar al surgimiento de nuevas entidades de dibujo con el uso nuevamente de la base de datos de AutoCAD.

Sin embargo, en el mundo predominan las soluciones aisladas para cumplimentar tareas específicas como resultado de los intentos en introducir sistemas automatizados. Por ejemplo, existen muchos softwares para el diseño de determinados componentes cuyo resultado satisface el diseño del producto; pero no puede ser empleado directamente durante las tareas de preparación para la fabricación de dicho producto.

De forma análoga ocurre con la mayoría de los sistemas CAPP incluso con sistemas instalados en algunas fábricas destacadas en el uso de tecnologías de punta, los cuales resuelven satisfactoriamente la tarea de planificación de procesos, pero funcionan sin una verdadera integración con el diseño lo que provoca la necesidad de introducir manualmente información codificada sobre la pieza en la etapa de planificación. Por otra parte, con la conclusión de la tarea de planificación del proceso de manufactura ocurre la pérdida de información que podría ser utilizada para las etapas siguientes de planificación como son las correspondientes a la planificación de recursos materiales (MRP) y la de planificación de la producción y scheduling (CAP), estas etapas de la planificación del proceso de producción junto al CAPP deben funcionar de manera articulada en un ambiente CIM.

2.3. Descripción de los modelos para la sección CAD y para la sección CAPP

Como requisito del modelo creado para el sistema CAD se establece que además de la entrega del diseño de la instalación y el reporte del material utilizado, se efectúe la solicitud de las necesidades de fabricación de los elementos del conducto con toda la información asociada para la sección CAPP.

En la figura 4 se muestra el modelo CAD, donde se consideran todas las funciones de diseño del conducto y lo concerniente a la preparación de la comunicación con la sección CAPP.

El proceso de manufactura en máquinas de corte por láser, plasma, y electroerosión por hilo se cumple en una operación tecnológica, por lo que la planificación en este caso se efectúa a nivel operacional. Evidentemente, el modelo operacional para la sección CAPP deberá incluir la función relacionada con el reconocimiento de la información sobre las piezas declarada a nivel de proceso para otros sistemas de manufactura multioperacionales /6/, /7/, (ver figura 5)

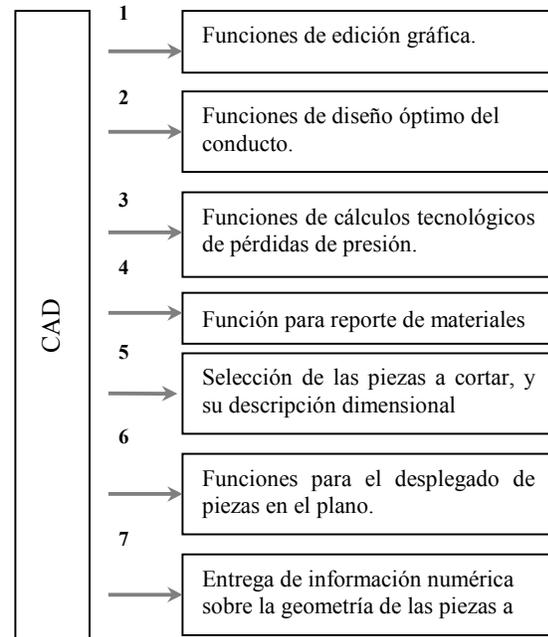


Fig. 4: Modelo del sistema CAD para conductos.

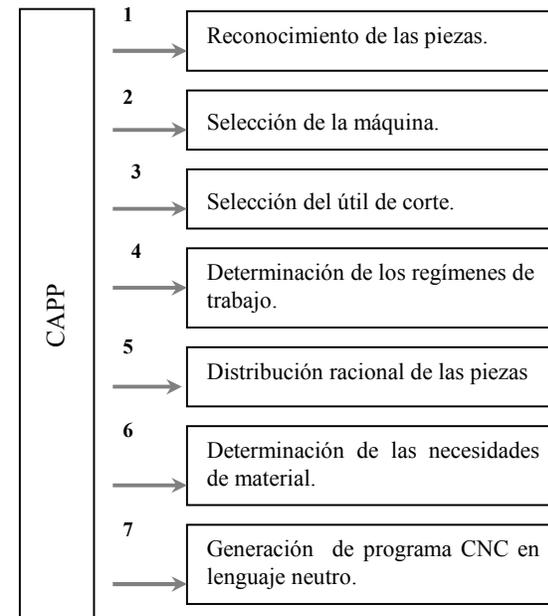


Fig. 5. Modelo del sistema CAPP para máquina de corte CNC.

Las funciones 1 y 5 del modelo representado en la figura 5 se cumplen de manera automática. La distribución de las piezas obtenida podrá ser ajustada por el usuario si lo considera necesario.

Durante la definición de la trayectoria de corte y generación del programa CNC en lenguaje neutro, función 7, se tiene en cuenta la posible presencia de piezas en las cavidades de otras piezas mayores, el paso del útil entre piezas contiguas se efectúa por sus puntos más cercanos con una sola penetración de la herramienta para los contornos exteriores. El postprocesamiento del programa de corte en lenguaje neutro se efectúa por la función 8 del modelo.

3. Conclusiones

De lo tratado se puede generalizar lo siguiente:

1. La introducción de técnicas de optimización multiobjetivo, considerando indicadores formalizables y no formalizables, en el diseño de redes de conductos de climatización no sólo permite elevar la eficiencia de las soluciones encontradas, si no también elevar considerablemente el grado de automatización del diseño, manteniendo la flexibilidad requerida en la toma de decisiones por parte del diseñador.
2. Las aplicaciones CAD/CAPP concebidas sobre la base de modelos de alta integración del producto y del proceso, aseguran el flujo automatizado de información desde la etapa de diseño hasta la de planificación del proceso de producción.
3. Durante la etapa de análisis y perfeccionamiento de redes existentes, al efectuar cambios constructivos en los tramos de la red se puede evaluar directamente el comportamiento de los parámetros del conducto: flujo, velocidad, y valores de presión entregados.
4. El empleo de los datos extendidos de entidades (Extended Entity Data) le infiere al sistema gran flexibilidad durante las acciones de creación y mantenimiento del diseño, facilita la toma de decisiones tecnológicas y brinda la posibilidad de entregar el reporte actualizado de los materiales empleados en la instalación.
5. El uso de la misma información técnica almacenada en la base de datos del sistema CAD, tanto para la actividad de diseño como para la de planificación del

proceso de manufactura, asegura mayores niveles de automatización y reduce la posibilidad de errores.

Bibliografía

1. Arzola R. J. "Selección de Propuestas", Ed. Científico-Técnica, La Habana, 1989.
2. Gielingh, W. F. y otros "An open architecture for information integration of CIM modules" Proceedings of the Fourth International IFIP Conference Computer Applications in Production and Engineering, Burdeaux, Francia 1991.
3. Hatvany J. "What is Economic and how am I to know" in 19th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems-Computer Aided Process Planning, Penn State, USA 1989.
4. Honeycutt D. E. y otros. "The Impact of Flexible Manufacturing on Competitive Strategy". IM November-December, USA 1993.
5. Jwata, K. "Knowledge based computer aided process planning in intelligent manufacturing systems" II Ed. V.R. Milacic Amsterdam, 1986.
6. Kochan, D. CAM Developments in Computer Integrated Manufacturing. IFIP State of the Art Reports, Tokio 1986.
7. Kochan, D. "Production and Process Planning" Computer Application in Computer and Engineering, CAPE'91, F. Ed. Kimura A. Rolstadas, Tokio 1991.
8. Kutz, Myers "Enciclopedia de la Ingeniería Mecánica y Técnica", Vol. 1, 6, 8. Ed. Española: Océano Grupo Editorial. S.A. 1995.
9. Marks, D. C. "Expert-System-Based Generative process Planning", Proceedings de la conferencia Auto-FACT'87, Detroit, Michigan, USA, 1987.
10. Mertins K. and Wieneke B. "State of the art in flexible manufacturing system design". Production Planning and Control. Vol 2, No.2 155 - 159, Berlín, Alemania 1991.
11. Robert W. y McDonald A. "Introducción a la Mecánica de Fluidos" Ed. McGraw Hill, Interamericana S. A., USA, Cuarta Edición, 1995, 916 Pag.
12. Shames Irving. "Mecánica de los Fluidos" Ed. M.G.Hil, Tercera Edición, USA, 1995.
13. Tomljanovich, Marco. "Computer and Desinger Integration" Proceedings of the Third International IFIP Conference Computer Applications in Production and Engineering, Tokio, 1989.

14. Zhao, L. C. "An approach to integrate Information Technology for Advanced Manufacturing CAD/CAPP/CAM" International Conference on Systems", Nanjing, China 1991.

Optimal design and planning of the manufacturing process (CAD / CAPP) of air conditioning pipeline nets

Abstract

One of the main work directions of several technological research institutions is the integration of the product design and preparation of the manufacturing tasks. The trend in this sense is to make an efficient use of the information associated to the design, in the subsequent stages of the production process.

The system we now introduce is able to carry out the optimum automated design of the pipelines used for room air conditioning, through the analysis and evaluation of the main criteria that determine the efficiency of the installation. Among these are the production costs and power consumption.

Since the early designing stages, we can already get to know, not only the values of the fluid parameters at any point of the net, but also the classified list of the components used, as well as the materials still needed.

The geometrical and dimensional information of all the elements of the net, as well as their necessity, is transferred automatically from the CAD section to the CAPP section (process planning), which is used to organize the material final cutting, either by means of conventional methods or through CNC, depending on the user's technological availability.

Key words: Optimal design, CAD, air conditioning pipeline.

I Encuentro de Eficiencia Energética



Septiembre 12 - 15, 2000, La Habana, Cuba

TEMAS PRINCIPALES

Mecánica de los Fluidos, Transferencia de Calor, Motores de Combustión Interna, Plantas Térmicas, Energía Eólica y Solar, Combustibles, Medio Ambiente, Uso Racional de la Energía, Termodinámica, Generación de Vapor, Refrigeración, Tecnologías de Secado, Biomasa y Climatización.

Para enviar resúmenes o solicitar información adicional

Comité Organizador CCIM'2000
 Instituto Superior Politécnico *José Antonio Echeverría*
 Facultad de Ingeniería Mecánica
 Calle 127 s/n, CUJAE, Marianao 15, Ciudad de La Habana, Cuba
 Teléfono: (537) 20 2267 Fax: (537) 27 1208
 E-mail: ccim@mecanica.ispjae.edu.cu