

Diseño óptimo de redes hidráulicas bajo criterios múltiples.

J. R. Hechavarría Hernández*, J. Arzola Ruiz, A. Cordovés García*, A. M. Lastre Aleaga*.**

*Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya" (UHo),

**Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría" (ISPJAE)

La Habana, Cuba, CP 19 390.

E-mail: jrhhcuba@cadcam.uho.edu.cu

(Recibido el 22 de enero del 2007, aceptado el 12 de marzo del 2007)

Resumen.

Las redes hidráulicas se encuentran muy difundidas en las ingenierías cuyas soluciones de diseño requieren ser realizadas sobre la base de la elevada integración de la información durante el proceso de análisis y estudio de la tarea, de la aplicación de los métodos modernos de preparación y toma de decisiones, así como la organización racional de los procedimientos de cálculo. El proceso de diseño debe responder a dos de los problemas más acuciantes del mundo de hoy: el de la energía y el del costo. En la literatura universal no aparecen soluciones metodológicas que permitan enfrentar la determinación de soluciones suficientemente racionales al problema del diseño de redes hidráulicas al nivel de considerar el conjunto de criterios generalmente aceptado como importantes para decidir sobre el diseño de la red incluyendo la racionalidad del trazado y aspectos de tipo subjetivo.

El presente trabajo es fruto de la colaboración del Centro de Estudios de Diseño y Fabricación Asistido por Computadora (CAD/CAM) de la Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya", el Centro de Estudios de Tecnología Energética Renovable (CETER) de la Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría" y el Grupo Empresarial de Investigación, Proyecto e Ingeniería (GEIPI) del Instituto de Recursos Hidráulicos.

Palabras claves: CAD, redes hidráulicas, criterios múltiples.

1. Introducción.

El creciente compromiso al incremento de la eficiencia energética, la elevada demanda de proyectos de redes hidráulicas en el país, debido al mal estado de las redes existentes y la carencia en la actualidad de una metodología que satisfaga el sistema de preferencias de un potencial decidor, es decir, que aporte un compromiso razonable entre los diferentes indicadores de eficiencia de la red hidráulica, incluido factores del tipo subjetivo constituyen el problema científico identificado por el autor en este trabajo

Se plantea como hipótesis del trabajo que el desarrollo de los fundamentos del Análisis y la Síntesis de Sistemas de Ingeniería para la Preparación y Toma de Decisiones bajo Criterios Múltiples, incluidas las decisiones de expertos, en la actividad de diseño de redes hidráulicas, permitirá obtener un compromiso razonable entre los diferentes indicadores de eficiencia de la tarea de diseño.

Se considera como objeto de investigación el diseño de redes hidráulicas, siendo el campo de acción la

reducción de consumos energéticos y de costos en la actividad de diseño de redes hidráulicas

El objetivo general de este trabajo es desarrollar los fundamentos del Análisis y la Síntesis de Sistemas de Ingeniería para la Preparación y Toma de Decisiones bajo Criterios Múltiples, en la actividad de diseño de redes hidráulicas y validar los resultados teóricos con ayuda de herramientas CAD desarrolladas por el autor y por otros autores

Para el desarrollo del presente trabajo se realizó un estudio del estado del problema del diseño óptimo de redes hidráulicas y de los métodos de Análisis y Síntesis de Sistemas de Ingeniería para la Preparación y Toma de Decisiones bajo Criterios Múltiples, así como de los métodos de optimización asociados.

La novedad científica consiste en elaborar y validar los principios teóricos que permitan enfrentar la determinación de soluciones suficientemente racionales al problema del diseño de redes hidráulicas al nivel de considerar el conjunto de criterios generalmente aceptado como importantes para decidir sobre el diseño de la red incluyendo la racionalidad del trazado y aspectos de tipo subjetivo.

2. Análisis y síntesis de sistemas de ingeniería para la preparación y toma de decisiones bajo criterios múltiples.

Del estudio de la bibliografía existente sobre el desarrollo de sistemas de ingeniería, a pesar de existir una gran cantidad de autores que han trabajado el tema [1, 2, 3, 9, 10] se deduce un déficit general en los fundamentos del Análisis y la Síntesis de Sistemas de Ingeniería para la Preparación y Toma de Decisiones bajo Criterios Múltiples, incluidas las decisiones de Diseño. En el libro [3] se presenta una metodología, la que se expone a continuación para el caso concreto cuando ha sido ya definida una tarea específica que responde a una clase de problemas determinada, como lo es el Diseño de Redes Hidráulicas.

3. Análisis del sistema de dirección por tareas.

Las tareas de preparación de decisiones derivadas de la aplicación de los principios de descomposición se someten a análisis externo e interno. Ver figura 1. La necesidad en la realización de estas etapas de análisis se fundamenta, entre otros resultados, sobre la base de los principios del Enfoque Cibernético de Norbert Wiener [27].

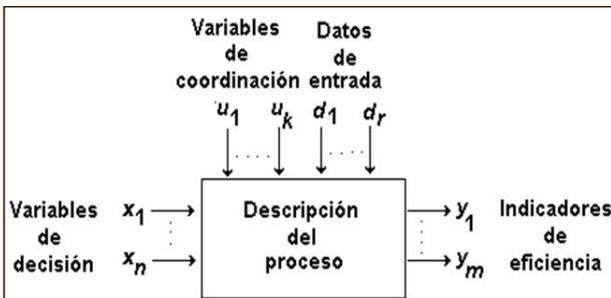


Figura 1 - Clasificación de la información involucrada en el análisis externo de los procesos de preparación de decisiones.

4. Análisis Externo.

El análisis externo consta de las etapas siguientes:

- Estudio de la tarea de mayor envergadura a la cual se encuentra subordinado el sistema objeto de análisis así como la descomposición de la tarea dada.
- Determinación de los indicadores que caracterizan la calidad de las soluciones posibles de la tarea estudiada y que pueden resultar de interés al potencial usuario del sistema. Estos reciben el nombre de indicadores de eficiencia [5, 6, 7] y se determinan mediante encuestas entre empresarios y especialistas vinculados con tareas de la clase estudiada.

- Estimación inicial de la composición de las variables de decisión y de los datos de entrada de la tarea, las que se precisan durante el Análisis Interno.
- Determinación de variables intermedias de interés así como restricciones necesarias para cada una de ellas.
- Descomposición de la tarea estudiada en elementos componentes.

5. Análisis interno.

Consiste en la determinación del algoritmo más racional para calcular los indicadores de eficiencia formalizables a partir de las variables de entrada [5, 6, 7], así como de los procedimientos de generación de las imágenes gráficas necesarias para evaluar con efectividad los indicadores de eficiencia no formalizables. El análisis interno consta de las fases siguientes:

- Modelación matemática. En esta fase se determinan aquellas relaciones que permiten explicar las salidas (indicadores de eficiencia), a partir de las entradas del proceso (variables de coordinación).
- Organización racional de los procedimientos de cálculo. En esta fase se precisa la composición de las variables de decisión y el orden de los cálculos que conducen a algoritmos con la menor cantidad posible de ciclos, quedando definidos los algoritmos de cálculo del proceso.
- Simulación. En esta fase se realiza la implementación de los procedimientos de cálculo.

Formulación general de la tarea de generación de opciones.

Como una parte de los indicadores de eficiencia requiere ser minimizado, mientras otros maximizados y pueden existir indicadores que pueden ser tan solo evaluados subjetivamente.

$$Z_i = \theta_j y_i \quad (1)$$

Donde:

$$\theta_j = 1 \text{ si se requiere minimizar } y_i$$

$$\theta_j = -1 \text{ si se requiere maximizar } y_i$$

Los indicadores y_i son aquellos que fueron obtenidos durante el Análisis Externo, los que dependen de los valores de las variables de decisión x_i .

Modelo matemático general.

$$\text{Minimizar } [Z_1(x), Z_2(x), \dots, Z_m(x)] \quad (2)$$

Y satisfacer, al mismo tiempo, el conjunto de restricciones:

$$\begin{aligned} g_1(x) &\geq b_1 \\ g_2(x) &\geq b_2 \\ g_r(x) &\geq b_r \end{aligned} \quad (3)$$

Las anteriores restricciones (3) se establecen durante el análisis interno y por lo tanto tienen que ver con la elaboración del procedimiento de cálculo de las salidas como función de las entradas.

En el caso general, no resulta posible la minimización simultánea de las m funciones del vector (2). Para enfrentar esta situación se utilizan los resultados del análisis multicriterial [1, 6, 9, 10, 13].

Para enfrentar esta situación se utilizan los resultados del análisis multicriterial donde se decide sustituir la minimización simultánea, por la minimización repetida de la siguiente función monocriterial, la que expresa la distancia ponderada y normalizada de Tchebueff con respecto a una solución ideal y^{id} .

$$\beta = \sum_{i=1}^m w_i \frac{|y_i - y_i^{id}|}{|y_i^{est}|} \quad (4)$$

En la práctica las soluciones ideales pueden ser sustituidas por soluciones deseables. Una solución deseable no es otra cosa que un conjunto de valores de aspiración para los diferentes indicadores de eficiencia.

Donde las y_i se corresponden con los indicadores cuantificales de eficiencia, independientemente si requieren o no ser minimizado, y^{id} se corresponde con los valores ideales de estos indicadores, los que en la práctica pueden ser sustituidos por valores deseables y y^{est} se corresponde con valores próximos a y^{id} diferentes a 0. Generalmente los coeficientes de peso w_i se normalizan mediante la restricción:

$$w \in W, W = \left\{ w \in R^r / w_i \in (0,1), \sum_{i=1}^r w_i = 1 \right\} \quad (5)$$

Para conciliar las decisiones del sistema asociado a la tarea estudiada, con semejantes tareas que forman parte del sistema de mayor envergadura, se generan espacios de decisiones próximas al mínimo de la función objetivo (4).

Las soluciones que forman parte de estos espacios reciben el nombre de opciones de decisión; al proceso mismo de generación de opciones se le denomina Preparación de Decisiones. Una vez generadas las decisiones pueden ser filtradas tomando en consideración factores de tipo subjetivo evaluados con

ayuda de métodos gráficos y de simulación moderna a cada una de estas decisiones.

Las decisiones que permanecen como candidatas a ser elegidas son consideradas Propuestas del correspondiente elemento del sistema al Sistema de dirección de mayor envergadura.

En el caso que nos ocupa de diseño de redes hidráulicas cerradas los elementos del sistema pueden estar constituidos por los ramales de la red que alimentan ciertas zonas de abasto, por los que eventualmente se pueden generar opciones de solución, mientras que para la red completa se selecciona aquella combinación de opciones de subredes de las diferentes zonas que mejor satisfacen el sistema de preferencias del decisor (la persona, organización u otro ente responsable de decidir).

La realización práctica de la tarea de generación de opciones de decisión tiene mucho que ver con los métodos modernos de optimización discreta [3, 5, 7], así como con las metaheurísticas. Para enfrentar la solución del problema estudiado en este trabajo se utilizó el algoritmo de Búsqueda por Exploración Aleatoria del Extremo de una Función de Código Variable [2, 8].

6. Métodos modernos para la generación y selección de opciones de diseño.

Tanto el cálculo de los indicadores de eficiencia y_i como de las funciones $g(x)$ sometidas a restricciones y que aparecen en el modelo general de toma de decisiones (2) son, en el caso más general, el resultado de procedimientos complejos de cálculo en los que intervienen tablas, gráficos, nomogramas, etc., por lo que en la solución de este modelo quedan excluidos los métodos de optimización orientados a modelos matemáticos con estructura específica, a no ser aquellos casos cuando estos métodos se usan para generar soluciones aproximadas que requieren de una precisión posterior [16]. Por estas razones, los métodos adecuados para generar opciones de decisión están dados por los métodos numéricos de Búsqueda directa de la Programación No lineal, algunos de los métodos de la Programación Discreta y los métodos metaheurísticos modernos, tales como el Recocido Simulado, Colonia de Hormigas, Integración de Variables, etc.

En el caso concreto del sistema estudiado fue utilizado por el autor de este trabajo uno de los algoritmos del método de Integración de Variables que hasta el momento ha sido el de resultados más favorables: el Algoritmo de Búsqueda por Exploración Aleatoria del Extremo de una Función de Código Variable.

6. Búsqueda por exploración aleatoria del extremo de una función de código variable.

Este algoritmo constituye una aplicación del Método de Integración de Variables [2, 8]. En este caso particular de aplicación del método de Integración de Variables, en cada iteración se realiza la búsqueda del mínimo de una función de Códigos Variables. Los valores iniciales de los códigos variables se generan aleatoriamente, dentro del intervalo de posibles valores del código variable de solución. La Función objetivo Z puede interpretarse de la misma forma que en los Algoritmos Genéticos y podría incluir el resultado del cálculo de una función de penalidad por el incumplimiento de las restricciones.

En cada paso de exploración se incluye en la población la mejor solución encontrada, mientras el tamaño de la población sea menor que el establecido o se actualiza la población en caso que ésta halla alcanzado ya el tamaño establecido. Como actualización se entiende la comparación del valor de la función objetivo de cada solución generada en el paso dado con el de la peor solución de la población y si este valor es inferior al de la peor solución de la población, entonces se sustituye esta última solución. Una vez que es alcanzada la precisión δ prevista, se reinicia el proceso de generación de valores aleatorios de x.

Para la búsqueda de la posible población inicial, se procede a la implementación del algoritmo de la figura 2, donde en cada iteración se realiza la búsqueda del mínimo de una función de códigos variable (Z).

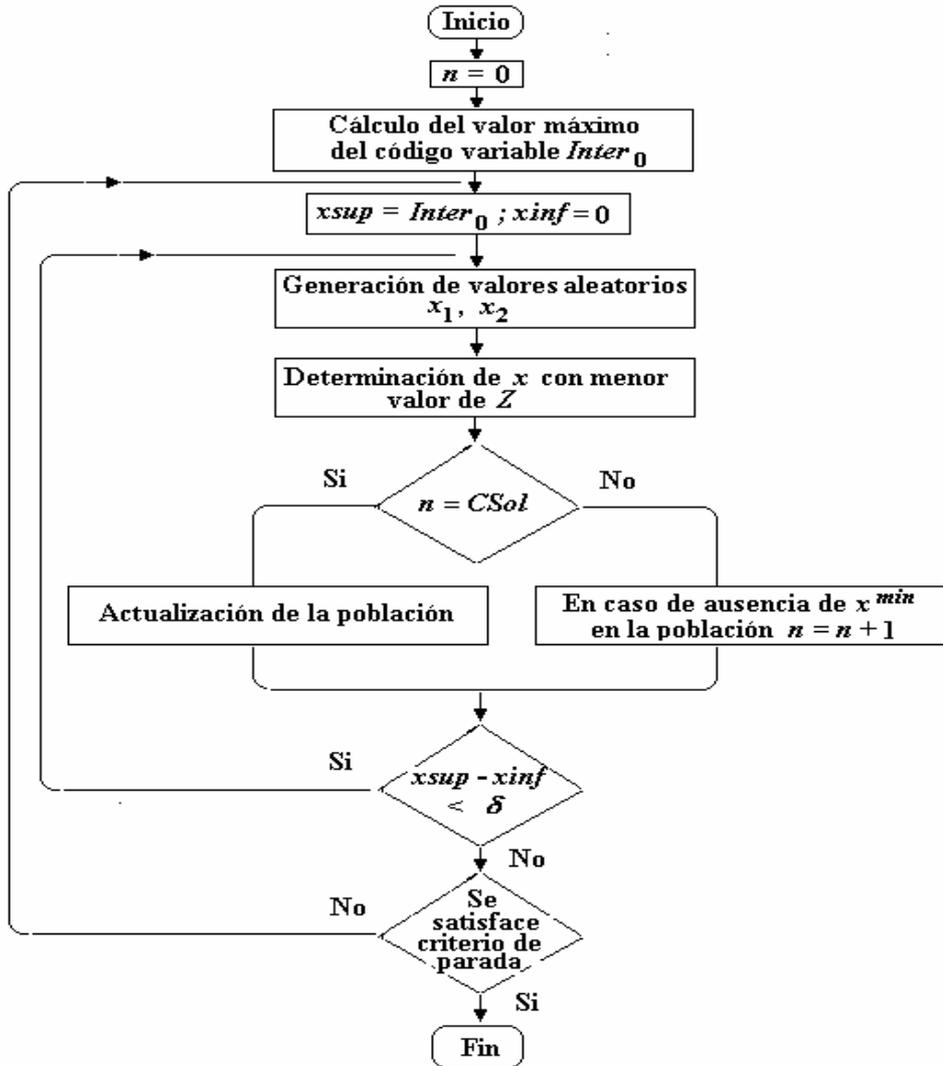


Figura 2 - Esquema del algoritmo de Búsqueda Aleatoria.

En la figura 3 se ilustra la ejecución de un paso exploratorio por el algoritmo propuesto. En cada iteración se generan dos códigos variables en el intervalo $x^{inf} - x^{sup}$. De los 3 subintervalos obtenidos se elimina aquel que contiene el mayor valor de Z y se vuelven a generar otros dos valores dentro del subintervalo obtenido. Este proceso se repite mientras la longitud del intervalo $x^{inf} - x^{sup}$ sea superior a una precisión dada. Mientras el tamaño de la población sea inferior a lo establecido se añade a la población, en cada paso, aquella solución con el menor valor de Z entre los 2 códigos generados. Una vez alcanzado el tamaño requerido de la población se compara el menor valor de Z entre los 2 códigos generados con la peor solución y, en caso de tener menor valor de Z, la solución correspondiente sustituye a la peor de la población.

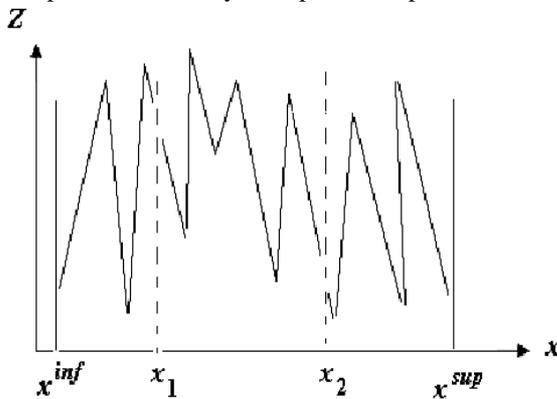


Figura.3. Exploración aleatoria en un intervalo de búsqueda.

El máximo valor requerido para el código variable se puede calcular, para un total de m variables del problema de optimización estudiado, como:

$$Inter_0 = \prod_{i=1}^m MaxCod(i) \quad (6)$$

Donde:

$Inter_0 = x^{sup}$ - longitud requerida del intervalo inicial búsqueda

$MaxCod(i)$ - número máximo de opciones de solución previstas de la variable i

Para calcular el valor de Z para cada valor x generado se requiere convertir ese valor de código en opciones de solución de cada una de las m variables de la tarea en cuestión.

7. Análisis externo de la tarea de diseño de redes hidráulicas.

Las variables de decisión del sistema de mayor envergadura, asociadas al sistema dado, constituyen las

Variables de Coordinación del sistema de diseño estudiado:

- Ubicación espacial de los nodos de la red
- Tipo de nodo (Suministro, Consumo, Mixto)
- Destino de servicio de la red (tipo de fluido: aceite, agua, petróleo, etc.)
- Tipo de red (industrial, urbana, etc.)
- Presión mínima adecuada en cada nodo
- Demanda necesaria en cada nodo
- Menor y mayor perímetro permisible en los circuitos de la red cerrada
- Obtención uniforme de los circuitos de la red cerrada según perímetros

Se establecen como Indicadores de Eficiencia:

- Valor mínimo de pérdida de energía (E)
- Costo total mínimo (C) de la red hidráulica

Son Variables de Decisión del sistema las siguientes:

- Existencia de tramos entre nodos
- Diámetro de la tubería en cada tramo
- Altura de presión de cada nodo de suministro (uno o el otro)

Resultan de interés para el decidor las Variables Intermedias siguientes:

- Velocidad del líquido en cada Tramo
- Altura de presión en los Nodos

Entre los Datos de Entrada se encuentran los siguientes:

- Temperatura del líquido
- Viscosidad cinemática (según tipo de líquido y temperatura)
- Material de la tubería
- Rugosidad equivalente (según tipo de material de la tubería)
- Coeficiente de resistencia local (según tipo de accesorio)
- Costo de todos los elementos que intervienen en el cálculo económico (materiales, operaciones, etc.)
- Valores mínimo y máximos de velocidad y presión (según destino de servicio de la red).

8. Análisis interno de la tarea de diseño de redes hidráulicas.

Tiene como objetivo elaborar el procedimiento computacional para calcular las salidas (indicadores de eficiencia) en función de las entradas [3].

Cálculo de la función de Calidad del sistema [3].

Uno de los esquemas mas utilizados en los últimos años para la aproximación de la función de utilidad multiobjetivo consiste en la minimización de la distancia de Tchebycheff desde una solución ideal (o deseada) hasta la región de existencia de solución. Esto permite muestrear, mediante la modificación de los pesos correspondientes, el conjunto de soluciones eficientes que se trate. En este trabajo se utilizó precisamente el enfoque expuesto. Así, se adopta como función objetivo de toda la red, la siguiente:

$$\text{Minimizar } Z = \max_i \left\{ w_i \left| \frac{Z_i - Z_i^{\text{deseada}}}{Z_i^{\text{deseada}}} \right| \right\} \quad (7)$$

Donde:

Z_i^{deseada} valor deseado de la función objetivo del nodo i

Z_i : valor de la función objetivo del nodo i

Teniendo en cuenta los indicadores de eficiencia, pérdida de energía (E) y costo total (C) en la red, se minimiza la distancia ponderada de Tchebycheff (Z) afectando cada parámetro por un peso establecido por el decidor.

$$Z = \max \left\{ w_1 \frac{E - E^{\text{id}}}{E^{\text{id}}}, w_2 \frac{C - C^{\text{id}}}{C^{\text{id}}} \right\} \quad (8)$$

Cálculo de las penalizaciones [3].

Toda red hidráulica presenta determinadas restricciones en relación a los valores de altura de presión y velocidad del caudal en los tramos.

$$\text{Presión (Nodos)} \quad P_i^{\text{inf}} \leq P_i \leq P_i^{\text{sup}} \quad (9)$$

$$\text{Velocidad (Tramos)} \quad Vel_i^{\text{inf}} \leq Vel_i \leq Vel_i^{\text{sup}} \quad (10)$$

Las restricciones anteriores se toman en consideración mediante el cálculo del valor de una función de penalización Pen según el método de J. N. Kelley (ver, por ejemplo, [2])

Teniendo en cuenta lo anterior se deben establecer penalizaciones que reflejen la no correspondencia con los parámetros permisibles.

$$Pen = \sum_{i=1}^m 10^{25} \theta_i (P_i^{\text{inf}} - P_i) + \sum_{i=1}^m 10^{25} \mu_i (P_i - P_i^{\text{sup}}) \quad (11)$$

$$+ \sum_{i=1}^n 10^{25} \delta_i (Vel_i^{\text{inf}} - Vel_i) + \sum_{i=1}^n 10^{25} \varphi_i (Vel_i - Vel_i^{\text{sup}})$$

Donde:

$$\theta_i = \begin{cases} 1 - Si \cdot P_i < P_i^{\text{inf}} \\ 0 - en \cdot otro \cdot caso \end{cases}; \quad \mu_i = \begin{cases} 1 - Si \cdot P_i > P_i^{\text{sup}} \\ 0 - en \cdot otro \cdot caso \end{cases};$$

$$\delta_i = \begin{cases} 1 - Si \cdot Vel_i < Vel_i^{\text{inf}} \\ 0 - en \cdot otro \cdot caso \end{cases}; \quad \varphi_i = \begin{cases} 1 - Si \cdot Vel_i > Vel_i^{\text{sup}} \\ 0 - en \cdot otro \cdot caso \end{cases}$$

m : cantidad de nodos.

n : cantidad de tramos.

El indicador de eficiencia generalizado para cada variante de red se calcula a partir de la función calidad más las penalizaciones por concepto de velocidades y presiones no permisibles.

Indicador de eficiencia generalizado.

$$Z^1 = Z + Pen \quad (12)$$

Metodología para satisfacer el sistema de preferencias de un potencial decidor.

1. Determinación del trazado de la red de mayor cantidad de circuitos
2. Determinación de la red mínima priorizada
3. Generación de opciones de trayectoria de redes cerradas al modificar la obtenida en el paso 1 y que contienen la obtenida en el paso 2
4. Generación de soluciones de diseño hidráulico que resultan próximas al criterio de eficiencia del decidor
5. Selección de aquella solución que satisface de la mejor manera el criterio completo de preferencias del decidor
6. Elaboración de toda la información técnica requerida: planos, informes y tablas de datos técnicos

9. Conclusiones.

1. Se presenta una metodología que aporta un compromiso razonable entre los diferentes indicadores de eficiencia de la red hidráulica, incluido factores del tipo subjetivo.
2. Se ha realizado el desarrollo de los fundamentos del Análisis y la Síntesis de Sistemas de Ingeniería para la Preparación y Toma de Decisiones bajo Criterios Múltiples, en la actividad de diseño de redes hidráulicas.
3. En la literatura universal no aparecen soluciones metodológicas que permitan enfrentar la determinación de soluciones suficientemente racionales al problema del diseño de redes hidráulicas al nivel de considerar el conjunto de

criterios generalmente aceptado como importantes para decidir sobre el diseño de la red incluyendo la racionalidad del trazado y aspectos de tipo subjetivo.

10. Bibliografía.

1. Alexandrov, N. M., and M. Y. Hussaini, eds. *Multidisciplinary Design Optimization: State of the Art*. Proceedings in Applied Mathematics Series, No. 80. Soc for Industrial & Applied Math, 1997. ISBN: 0898713595..
2. Arzola R. J.: Búsqueda Aleatoria del Extremo de una Función de un Código Variable, Proceeding de l XII Conferencia Latino Ibero Americana de Investigación de Operaciones, La Habana, 2004.
3. Arzola, J.: Sistemas de Ingeniería, Ed. Félix Varela, La Habana, 2000.
4. Arzola R. J. Classical and Generalized Selection of Proposal Tasks in the solution of the Augmented Tchebycheff Program. Proceeding de la XI Conferencia Latino - Ibero americana de Investigación Operativa, Santiago de Chile, 2002.
5. Arzola R. J. Sistemas de Ingeniería para la Preparación y toma de decisiones bajo criterios múltiples. Proceeding de la XI Conferencia Latino - Ibero americana de Investigación Operativa, Santiago de Chile, 2002.
6. Arzola R. J. y Morején V. G. Diseño óptimo multiobjetivo orientado a la ingeniería inversa en el ejemplo de los motores hidráulicos. Proceeding de la XI Conferencia Latino - Ibero americana de Investigación Operativa, Santiago de Chile, 2002.
7. Arzola R. J. La tarea de Selección de Propuestas bajo Criterios Múltiples. Métodos de Solución, Revista de Matemática, Vol. XI, N1, San José de Costa Rica, 2003.
8. Arzola R. J., Simeón R. E: Random exploration of the extremes of a function of a variable code: an application of the integration of variables method. Memorias del 1er SELASI, Trujillo, Perú, 2005.
9. Balling, R., and C. Wilkinson. "Execution of Multidisciplinary Design Optimization Approaches on Common Test Problems." AIAA Paper 96-4033, 1996.
10. Cramer, Erin J., et al. "Problem Formulation for Multidisciplinary Optimization." *SIAM Journal of Optimization* 4, no. 4 (November 1994): 754-776.
11. Diestel, Reinhard: Graph Theory, Electronic Edition, New York, USA. 2000
12. Gács Peter y Lovász László: Complexity of Algorithms, Boston University and Yale University, EUA. 1999
13. Gardiner, L.R. and R.E. Steuer: Unified interactive multiple objective programming. *Eur J. Opl Research* 74, 1994.
14. Hastad Johan: Complexity Theory, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden. 2000
15. Hechavarría, JR H: "Diseño automatizado de redes de acueducto". Tesis para optar por el grado científico de Master en Ciencias Técnicas. Holguín, Cuba. 2000
16. Jachaturov V. *Métodos matemáticos de la programación regional* (en ruso). Ed. Nauka, Moscú, 1989.
17. Kroo, I. and V. Manning. "Collaborative Optimization: Status and Directions." AIAA Paper 2000-4721, 2000.
18. Lewis A. Rossman: EPANET 2. Water Supply and Water Resources Division. National Risk Management Research Laboratory. Cincinnati. OH 45268, 2001
19. Martínez F.: EPANET 2. Grupo IDMH. Dep. Ingeniería Hidráulica y M.A. Universidad Politécnica de Valencia. España. 2001
20. Michalewicz Z. and M. Schoenauer 1996: Evolutionary Algorithms for Constrained Parameter Optimisation Problems. *Evolutionary Computation*, 4(1):1-32.
21. Parberry, Ian y Gasarch William: Problems on algorithms: Second Edition. University of North Texas, EUA. 2002
22. Preiss, Bruno R: Data Structures and Algorithms with Object-Oriented Design Patterns in C++, University of Waterloo, Waterloo, Canada. 1997
23. Roller D y P Brunet: CAD Systems Development Tools and Methods. University of Stuttgart, Germany. 1997
24. Sobieski, Jaroslaw, Altus, Phillips, and Sandusky. "Bi-level Integrated System Synthesis for Concurrent and Distributed Processing." *AIAA Journal* 41, no. 10 (October 2003): 1996-2003.
25. Statnikov, Roman B., and Joseph B. Matusov. *Multicriteria Optimization and Engineering*. New York: Chapman and Hall, 1995. ISBN: 0412992310.
26. Steuer, R. E.: Multiple Criteria Optimization: Theory, Computation and Application, Willey, New York, 1986.
27. Wiener, N.: Cybernetics, or Control and Communication in the Animal and Machine. Willey, N.Y., 1949.

Optimal design of water supply nets by means of multiple criteria optimization.

Abstract.

Hydraulic networks are very common in engineering. The devising of designing solutions for these networks must be accomplished on the basis of high integration of information, the application of modern methods of preparation and decision taking, as well as the rational organization of the engineering calculation procedures involved. The designing process must take into account two of the most important problems of the world: energy and cost.

Universal literature does not provide with methodological solutions to determine sufficiently rational solutions to the problem of designing closed hydraulic networks, at least at the level of considering the generally accepted criteria as important to decide on the network's design, including the determination of the most rational trajectory of the network and the subjective aspects.

The present work is the result of the collaboration among the Studies Center of Computer Aided Design and Manufacturing (CAD/CAM) of the University of Holguín "Oscar Lucero Moya", the Studies Center of Renewable Energy Technology (CETER) of the Higher Polytechnical Institute "José Antonio Echeverría" and the Enterprise Group of Investigation, Project and Engineering (GEIPI) of the National Institute of Hydraulic Resource.

Key Words: CAD, hydraulic networks, multiple criteria.

INGENIERÍA MECÁNICA

ISSN 1029-516X.

Revista Ingeniería Mecánica (On Line):

<http://www.cujae.edu.cu/ediciones/Mecanica.asp>

La Revista Ingeniería Mecánica se encuentra referenciada en las bases de datos:

1. Periódica
(<http://dgb.unam.mx/periodica.html>)
2. Latindex
3. Cambridge Scientific Abstracts
(<http://www.csa.com/>)
4. Directory of Open Access Journals
(<http://www.doaj.org>)
5. Ulrich's Periodical Directory
(<http://www.ulrichsweb.com>)
6. Registro Cubano de Publicaciones Seriadadas
(<http://www.cubaliteraria.com/publicacion/ficha.php?id=55>)

La publicación ha sido aceptada con los requerimientos exigidos por el Tribunal Nacional Permanente para Grados Científicos en Ingeniería Mecánica como publicación de referencia.

Las contribuciones con artículos a publicar en Ingeniería Mecánica pueden remitirse al Consejo de Redacción, para iniciar proceso con revisores, a las direcciones:

Email: jwellesley@mecanica.cujae.edu.cu

Email: cidim@mecanica.cujae.edu.cu

