

# APLICACIÓN DEL ALGORITMO GENÉTICO “*ELITISTA*” A LA OPTIMIZACIÓN DE NAVES INDUSTRIALES.

<sup>p</sup>Prendes Gero, M<sup>a</sup> Belén.

Bello García, Antonio.

Del Coz Díaz, Juan José.

Departamento de Construcción e Ingeniería de la Fabricación.

Campus de Viesques, s/n, 33600 Mieres.

E-mail: belen@mieres.uniovi.es

Tfno.: 34 98 5458018;

## 1 RESUMEN

El diseño convencional de estructuras metálicas depende de la habilidad y experiencia del diseñador, de la complejidad de la estructura y de las alternativas de diseño y técnicas de análisis existentes. Por el contrario, la optimización estructural y dentro de ésta, los algoritmos genéticos basados en la evolución natural, pretenden obtener soluciones que satisfagan los criterios de diseño prescritos. Todo ello, trabajando de una forma racional y objetiva, sin recaer en la intuición o habilidad del diseñador y englobando el proceso de selección y comprobación de los elementos estructurales. En este trabajo se aplica el algoritmo genético denominado “*elitista*”, desarrollado por el Departamento de Construcción e Ingeniería de Fabricación de la Universidad de Oviedo, a una nave industrial. El objetivo es obtener un diseño que con el mínimo peso, cumpla todas las comprobaciones de seguridad marcadas por la normativa española MV-103. Los resultados obtenidos, en la optimización estructural, se verifican con el módulo COMESC del programa ESCAL3D y con el módulo CIVILFEM del programa de cálculo por elementos finitos ANSYS. Por último, estos resultados se comparan con los obtenidos en el módulo METAL del programa de cálculo convencional CYPE.

## 2 ABSTRACT

The conventional design of metallic structures depends on the skill and experience of the designer, on the complexity of the structure and on the alternatives of design and existing analyses technologies. Otherwise, the structural optimization like the genetic algorithms based on the natural evolution, try to obtain solutions that satisfy the prescribed design criteria. All of this, in a rational and objective form, without

relapsing into the intuition or skill of the designer and including the selection and checking process of the structural elements. In this work, the genetic algorithm called “*elitist*”, developed by the Department of Construction and Engineering Manufacture of the University of Oviedo, is applied to an industrial building. The aim is to obtain a design that with the minimal weight, fulfills all the checkings of safety marked by the MV-103 Spanish Norm. The results, are verified with the module COMESC of the software ESCAL3D and with the module CIVILFEM of ANSYS, a FEM. Finally, these results are compared with those ones from the module METAL of CYPE, a conventional structural analysis software.

### 3 INTRODUCCIÓN

La mayor parte del tiempo consumido en un proceso de optimización se debe a la fase de *análisis sensitivo* (análisis de los impulsos respuesta por perturbaciones en las variables de diseño). Este costoso paso se evita con el empleo de métodos de optimización por combinaciones que se apoyan en conocimientos probabilísticos y no necesitan información de gradiente [4].

En los últimos tiempos se han desarrollado diversos algoritmos basados en los procesos naturales con el fin de resolver problemas estructurales [3]. Entre ellos destacan los algoritmos genéticos que imitan la evolución biológica y combinan el concepto de supervivencia de los individuos más aptos [2] con operadores evolutivos formando un mecanismo de búsqueda robusto y matemáticamente poco complejo.

Por otro lado, el algoritmo genético “*elitista*” implementado por el Departamento de Construcción e Ingeniería de Fabricación de la Universidad de Oviedo en un entorno gráfico denominado “GADEMO”, evita que el mejor individuo de la población actual fracase en producir descendientes para la próxima generación. Para ello copia un porcentaje de los mejores individuos de la población actual denominados “*élite*” en la nueva población aumentando la velocidad de convergencia. Emplea un nuevo operador de selección denominado “*aptitud*” que elimina los peores individuos de cada generación y un nuevo operador de cruce denominado “*por un fenotipo*” que evita que se creen nuevas secciones al intercambiar información.

En este trabajo se aplica el programa de optimización GADEMO a una estructura porticada con el objetivo de optimizarla obteniendo su peso mínimo bajo

la restricción de cumplimiento de los coeficientes de seguridad marcados por la Normativa Española MV-103. Los resultados obtenidos, se verifican con el módulo COMESC del programa ESCAL3D (diseñado conjuntamente por las Áreas de Construcción, Proyectos de Ingeniería y Expresión Gráfica de la Universidad de Oviedo) y con el módulo CIVILFEM del programa de cálculo por elementos finitos ANSYS. Por último, se comparan con los obtenidos en el módulo METAL del programa de cálculo convencional CYPE.

#### 4 ESTRUCTURA ANALIZADA

La estructura analizada es una nave industrial articulada y abierta, ubicada en la provincia de Zamora (Fig. 1). Los dinteles se dividen en dos partes iguales dando lugar a una estructura formada por 30 nudos y 35 barras agrupadas en cinco tipos de secciones. Esta agrupación se realiza en función de las solicitaciones a las que se ven sometidas las barras y a su ubicación en la estructura, disminuyendo el tiempo del proceso de optimización, facilitando la construcción y ejecución de la estructura al trabajar con un número reducido de secciones y haciendo la estructura lo más uniforme posible.

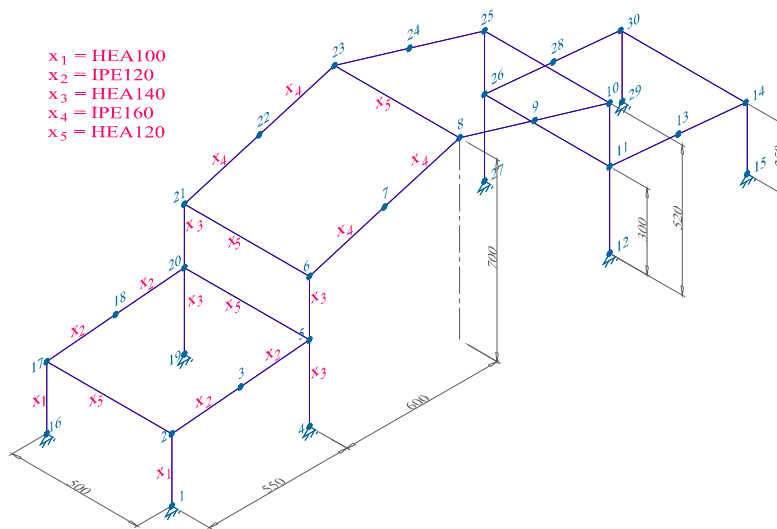


Fig. 1. Agrupación de barras en la estructura de pórticos (cotas en cm).

Se consideran dos hipótesis simples: el peso propio de la estructura y una sobrecarga formada por la carga de nieve y la carga de viento; y una combinación de las hipótesis simples donde el peso propio multiplicado por el coeficiente 1,33 se suma a la sobrecarga multiplicada por el coeficiente 1,5.

## 5 OPTIMIZACIÓN ESTRUCTURAL

La estructura porticada se introduce en el programa ESCAL3D [1] para realizar un primer análisis de la misma y crear los ficheros de arranque del proceso de optimización. Una vez creados estos ficheros, se ejecuta el programa de optimización GADEMO y se asignan los valores a los parámetros y operadores que definen el algoritmo genético.

Se ha comprobado [5] que el comportamiento del algoritmo genético elitista mejora para tamaños de población entre 60 y 100 individuos, una probabilidad élite entre el 10% y el 30%, una probabilidad de mutación entre el 1% y el 3% y una probabilidad de cruce lo mayor posible siempre y cuando no supere el 80% y la suma de esta probabilidad y la probabilidad élite no supere el 100%.

Teniendo en cuenta estos valores, y con el fin de reducir el número de evaluaciones de función efectuadas y por lo tanto, acelerar la convergencia se establece la combinación de parámetros de la (Tabla 1).

| $N_p$ | $P_e$ (%) | $P_{mut}$ (%) | $P_c$ (%) |
|-------|-----------|---------------|-----------|
| 60    | 30        | 1             | 70        |

Tabla 1. Combinación analizada.

Se realizan cinco evoluciones completas del proceso de optimización obteniendo en cada una un individuo óptimo cuyo peso (suma del peso de barras y del peso de coeficientes) es el menor de todos los individuos habidos a lo largo de las generaciones. Este individuo se representa en rojo, mientras que el resto de los individuos de la generación actual se representan en azul y los individuos de las generaciones previas en verde (Fig. 2).

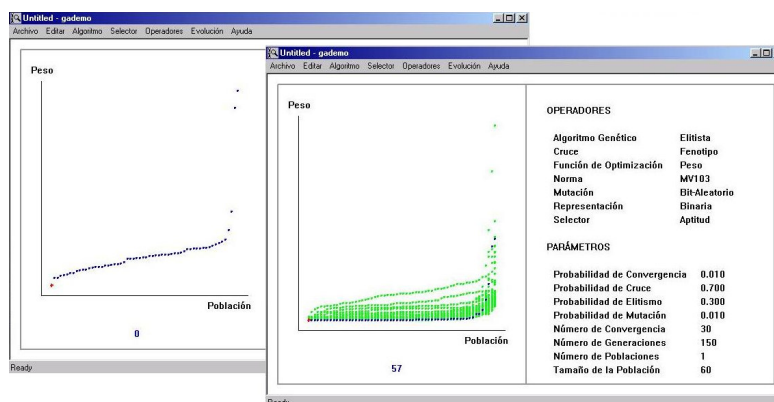


Fig. 2. Distribución de individuos en la primera evolución completa realizada para la estructura de pórticos.

En la (Tabla 2) y en la (Tabla 3) se representan los resultados de las cinco evoluciones realizadas. El mejor individuo óptimo corresponde al obtenido en la tercera evolución, caracterizado por un menor peso de barras y un mejor coeficiente máximo. En cuanto a las secciones asignadas a las barras se aprecia que dentro de un individuo se asigna la misma sección a grupos distintos, luego se podrían realizar grupos mayores.

| Evolución      | Peso     | Peso barras | Peso coeficientes | Coeficiente máximo | Generaciones | Evaluaciones |
|----------------|----------|-------------|-------------------|--------------------|--------------|--------------|
| 1              | 54518,44 | 1620,74     | 52897,70          | 0,98               | 57           | 1959         |
| 2              | 56453,11 | 1642,92     | 54810,9           | 0,90               | 28           | 968          |
| 3              | 54501,52 | 1507,73     | 52993,79          | 0,99               | 42           | 1443         |
| 4              | 54382,02 | 1580,70     | 52801,32          | 0,98               | 50           | 1724         |
| 5              | 55000,38 | 1575,93     | 53424,45          | 0,95               | 33           | 1111         |
| Valores medios | 54971,09 | 1585,60     | 53385,63          | 0,96               | 42           | 1441         |

Tabla 2. Resultados de las cinco evoluciones completas.

|         | Individuo 1 | Individuo 2 | Individuo 3 | Individuo 4 | Individuo 5 |
|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Grupo 1 | HEA100      | HEA100      | HEA100      | IPE100      | HEA100      |
| Grupo 2 | IPE80       | IPE80       | IPE80       | IPE80       | IPE80       |
| Grupo 3 | HEA100      | HEA120      | HEA100      | HEA100      | HEA100      |
| Grupo 4 | IPE140      | IPE160      | IPE140      | IPN140      | IPE160      |
| Grupo 5 | HEA100      | HEA100      | HEA100      | HEA120      | HEA100      |

Tabla 3. Secciones de los individuos óptimos.

## 6 VERIFICACIÓN DE RESULTADOS

Una vez seleccionado el individuo óptimo mejor, se asigna el valor de sus secciones a la estructura generada en el programa ESCAL3D [1] y a la generada con el módulo CIVILFEM, para verificar sus barras.

En la (Fig. 3) se representan los valores de los coeficientes de seguridad obtenidos con el programa ESCAL3D para la combinación de cargas. Estos coeficientes están representados por colores que van desde el azul oscuro para valores inferiores a 0,1 en los pilares del pórtico a un agua izquierdo, hasta el negro para coeficientes muy próximos a 1 en la parte superior del pilar derecho del pórtico a dos aguas y la zona del dintel a un agua derecho, más cercana a dicho pilar.

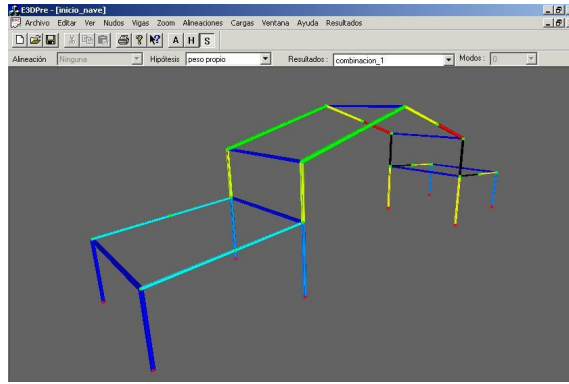


Fig. 3. Coeficientes de seguridad del mejor individuo óptimo según el programa ESCAL3D.

La comprobación de las barras a tensión y compresión según el módulo CIVILFEM se representan en la (Fig. 4). El hecho de que ninguna barra esté en rojo demuestra que todas son capaces de soportar los esfuerzos a los que se encuentran sometidas.

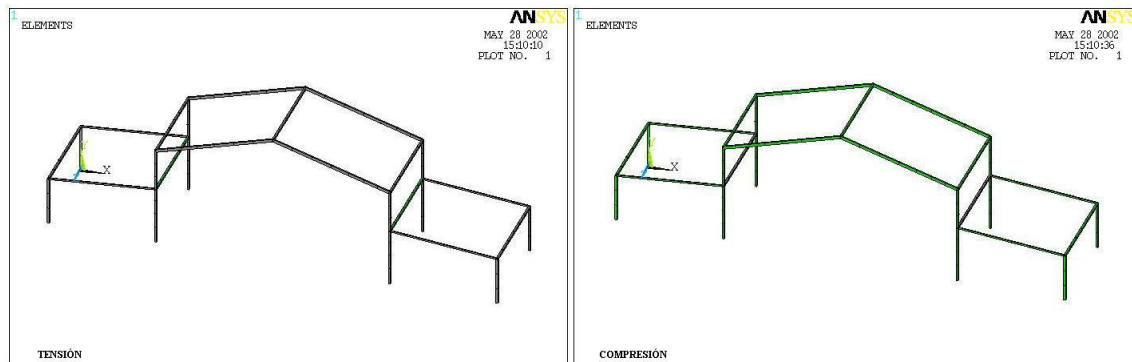


Fig. 4. Comprobación a tensión y compresión de los perfiles de optimización con el módulo CIVILFEM.

## 7 COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Optimizada la estructura con el programa GADEMO, se analiza, comprueba y si es necesario se redimensiona la estructura (Fig. 1) con el programa CYPE.

Al realizar la comprobación de barras, unas pocas se ponen en rojo lo que indica que estas barras no cumplen alguno de los coeficientes de seguridad, o lo que es lo mismo, que alguno de los coeficientes de seguridad es superior a uno (Fig. 5).

El siguiente paso es el redimensionamiento de la estructura, en el que se asignan a las barras en rojo aquellas secciones capaces de soportar los esfuerzos de cálculo. La estructura obtenida se refleja en la (Fig. 5), mientras que en la (Tabla 4) se compara el mejor individuo óptimo obtenido en el proceso de optimización del programa GADEMO, con la estructura obtenida en el redimensionamiento del programa CYPE.

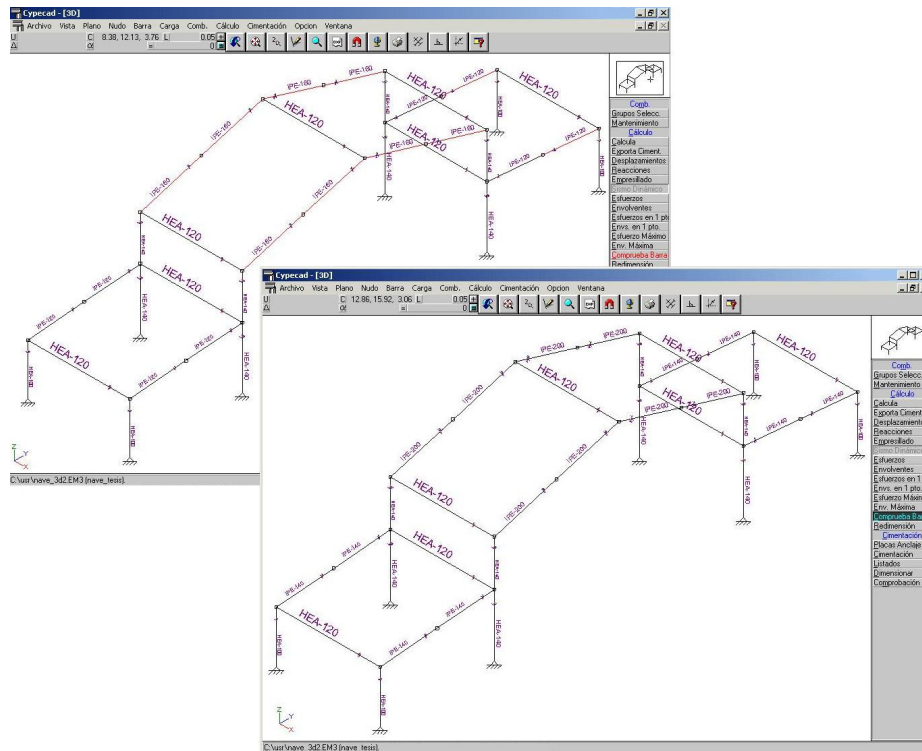


Fig. 5. Redimensionamiento de barras según el programa CYPE.

| Número Grupo    | Secciones GADEMO | Peso (kg) | Secciones CYPE | Peso (kg) |
|-----------------|------------------|-----------|----------------|-----------|
| 1               | HEA100           | 160,24    | HEA100         | 160,24    |
| 2               | IPE80            | 132,23    | IPE140         | 283,15    |
| 3               | HEA100           | 333,30    | HEA140         | 500,73    |
| 4               | IPE140           | 321,11    | IPE200         | 542,93    |
| 5               | HEA100           | 560,85    | HEA120         | 673,58    |
| Peso total (kg) |                  | 1507,73   |                | 2160,63   |

Tabla 4. Comparación de los resultados obtenidos con los programas GADEMO y CYPE.

En todos los grupos los pesos de las secciones asignadas a las barras con el programa GADEMO, son iguales o inferiores a los pesos de las secciones asignadas con el programa CYPE, lo que lleva a una mejora de 652,9 kg, es decir, un 43% del peso total de la estructura. Esta gran diferencia de pesos se debe a que el programa GADEMO busca la combinación de secciones que con el menor peso, sea capaz de cumplir los coeficientes de seguridad. Para ello, modifica todas las secciones y no sólo las que no cumplen los coeficientes (como hace el programa CYPE), ya que la alteración de una sección puede afectar al cumplimiento de los criterios de seguridad de otra.

## 8 CONCLUSIONES.

De los estudios realizados se puede decir que:

- La optimización estructural llevada a cabo con el algoritmo genético elitista sobre estructuras tridimensionales, obtiene estructuras seguras muy poco sobredimensionadas, que en ocasiones presentan secciones a priori rechazadas y que sin embargo, desde un punto de vista resistente podrían ser válidas.
- Las distintas combinaciones de secciones obtenidas para una misma estructura, permiten seleccionar aquella más adecuada constructivamente o aquella cuyas secciones sean más fáciles de obtener.
- Los pesos obtenidos con el programa GADEMO son inferiores a los obtenidos con programas de estructuras convencionales como el CYPE, debido fundamentalmente a la asignación aleatoria de secciones.

## 9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- [1] Bello García, A. Ordieres Meré, J. Del Coz Díaz, J. J. Suárez Domínguez, F. J. Felgueroso Fernández, D. Álvarez Fernández, M. *“Aprendizaje Interactivo mediante el programa de análisis estructural avanzado ESCAL3D”*. Journal of Constructional Steel Research. Elsevier Science, 1998. Vol 46, Pag 273-275.
- [2] Darwin, C. *“The Origin of species by Means of Natural Selection or the Preservation of Favored Races in the Struggle for life”*. The Book League of America, 1929. Originalmente publicado en 1859.
- [3] Davis, L. *“Handbook of Genetic Algorithms”*. Van Nostrand Reinhold, N. Y., 1991
- [4] Papadrakakis, M. Lagaros, N. D. Tsompanakis, Y. *“Computationally efficient techniques for structural optimization”*. Computational Mechanics New Trends and Applications. E. Oñate y S.R. Idelsohn (ed.). © CIMNE, Barcelona, España, 1998.
- [5] Prendes Gero, M. B. Bello García, A. Del Coz Díaz, J. J. *“Entorno gráfico para la optimización de estructuras metálicas en base a algoritmos genéticos”*. XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Santander, 2002.

## 10 CORRESPONDENCIA.

María Belén Prendes Gero

Departamento de Construcción e Ingeniería de la Fabricación;

Campus de Mieres, s/n;

Tfno.: 34 98 5458018;

Área de Expresión Gráfica.

33600 Mieres.

E-mail: belen@mieres.uniovi.es