



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escola Tècnica
Superior d'Enginyeria
Informàtica

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Informàtica
Universitat Politècnica de València

TRATAMIENTO DE GRAFOS MEDIANTE PROGRAMACIÓN EN AUTOCAD CON VISUAL LISP

Proyecto Final de Carrera

Ingeniería Técnica en Informática de Sistemas

Autor: Modesto Blanes García

Directora: Cristina Jordán Lluch

30-Septiembre-2014

Resumen

Utilizando el lenguaje de programación Visual LISP para AutoCAD 2013, este proyecto consiste en la creación de un programa que permite tanto dibujar grafos dirigidos y no dirigidos con aristas múltiples como aplicar algunos de sus algoritmos más frecuentes. Entre las cualidades gráficas más interesantes del programa podemos señalar las siguientes: Se puede trabajar con varios grafos en pantalla simultáneamente, así como dibujar bucles y enlaces curvos entre los nodos, y colocar puntas de flecha y pesos en el lugar del enlace recto o curvo que más nos convenga. Esta última opción permite evitar solapamientos de elementos gráficos que pueden crear confusión en el dibujo, con lo que conseguimos que éste goce de una gran pulcritud. Además resuelve algunos de los problemas más usuales como caminos mínimos, ciclos y cadenas eulerianas, algunos casos de ciclos y caminos hamiltonianos, isomorfismo de grafos, etc. en el caso de grafos cuyo dibujo no exceda del tamaño de una pantalla de ordenador. Los grafos dibujados pueden ser guardados en archivos de texto y recuperados posteriormente. Todo ello se hace utilizando una interfaz especial en la que casi únicamente se usa el ratón para dar las órdenes.

Palabras clave: AutoCAD, Visual LISP, grafo, multigrafo, bucle, flecha, peso, arista, arco, nodo, matriz, adyacencia, costes, multiplicidad, añadir, borrar, modificar, conexo, corte, euleriano, hamiltoniano, isomorfos, subyacente, subgrafo, supergrafo.

Tabla de contenidos

1. Introducción.....	7
2. Agradecimientos.....	10
3. Objetivos.....	11
4. Definiciones utilizadas.....	14
5. AutoCAD con Visual LISP.....	23
6. Estructura del programa.....	29
7. Manual del usuario.....	32
8. Problemas de aplicación.....	65
9. Bibliografía.....	73

ANEXOS

- Programa compilado PFC.fas
- Archivo de texto Ejemplo1.grf
- Archivo de texto Ejemplo2-1.grf
- Archivo de texto Ejemplo2-2.grf
- Archivo de texto Ejemplo3.grf
- Archivo de texto Ejemplo4-1.grf
- Archivo de texto Ejemplo4-2.grf
- Archivo de texto Ejemplo4-3.grf
- Archivo de texto Ejemplo5-1.grf
- Archivo de texto Ejemplo5-2.grf

1. Introducción

La Teoría de Grafos tiene actualmente aplicaciones en campos tan diversos como las ciencias sociales, ciencias físicas, ciencias de la comunicación, lenguajes formales, diseño lógico, inteligencia artificial, compiladores, recuperación de la información, etc.

En el estudio moderno de los grafos ha entrado, al igual que lo ha hecho en muchos otros campos, la Informática. Así pues, el número de algoritmos implementados en diversos lenguajes de programación para resolver los problemas planteados en la Teoría de Grafos es numeroso y sigue creciendo constantemente.

Antes de continuar debo decir que, por simplificar la nomenclatura, he utilizado la palabra *enlace* para referirme conjuntamente a las *aristas* (en el caso de los grafos no dirigidos) y a los *arcos* (en el caso de los grafos dirigidos).

Para facilitar el estudio de los grafos es fundamental la utilización de una representación gráfica adecuada. En los programas que conozco he observado que algunas de estas representaciones gráficas presentan aspectos que pueden ser mejorados.

Por ejemplo, hay programas que sólo permiten dibujar grafos no dirigidos. Hay otros en los que los enlaces entre los nodos del grafo se hacen siempre mediante segmentos rectilíneos con lo que, en principio, no se pueden dibujar bucles.

Si bien, desde el punto de vista esquemático, el planteamiento de utilizar sólo segmentos rectilíneos es correcto, hay sin embargo algunas situaciones de la vida real en las que los grafos son aplicables, y en las cuales sería deseable que, si conviene, estos enlaces se hagan mediante segmentos curvilíneos, pues de esta manera pueden dar, a quien está observando la representación gráfica, una idea más aproximada de lo que ocurre en la realidad.

En efecto, cuando se trata de esquematizar un mapa con pueblos o lugares, que serán representados por nodos, y carreteras o caminos que los unen, que lo serán por enlaces, es poco verosímil suponer que dichos caminos son siempre rectilíneos. Además, si colocamos los nodos en la posición relativa en la que se encuentran en la realidad las ciudades a las que representan, es posible que al enlazarlos con segmentos rectilíneos, alguno de éstos pase por encima de alguna otra ciudad. Si tenemos la posibilidad de utilizar enlaces curvos tenemos más flexibilidad para hacer el dibujo más elegante.

De la misma manera, en el caso de los multigrafos se hace necesario utilizar los enlaces curvilíneos, ya que en caso contrario entre dos nodos puede haber más de un enlace y sin embargo solamente se puede dibujar entre ambos un segmento rectilíneo. Aunque este problema se suele solucionar generalmente escribiendo junto al segmento un número que representa la cantidad de enlaces existentes entre ambos nodos, queda más atractivo a la vista dibujar todos los enlaces.

También he observado que en algunos programas existentes las puntas de flecha de los arcos en los grafos dirigidos se encuentran obligatoriamente en el final del arco, con lo cual, si concurren varios arcos en un mismo nodo, puede haber una sobrecarga de puntas de flecha sobre dicho nodo. Si alguno de esos arcos no tiene dicho nodo como extremo final, sino como inicial, es posible que sea difícil detectar esta circunstancia.

En el caso de grafos ponderados, algunos programas colocan el valor del peso de cada enlace en un punto estándar de la línea, sin que sea posible trasladarlo a otra posición ni girarlo, lo que es bastante conveniente en el caso de números de varias cifras. Esto origina que a veces se solapen numeritos con líneas dando al dibujo un aspecto poco agradable.

Finalmente, también existen programas en los que sólo se permite trabajar con un grafo, siendo necesario borrarlo previamente para poder trabajar con otro. Esto dificulta el establecer relaciones entre varios grafos.

Hay que tener en cuenta que, si se pretende crear un programa que remedie las circunstancias expuestas anteriormente, éste no debe limitarse a hacer el dibujo del grafo, sino que también debe guardar internamente todas sus características y parámetros, a fin de poder desarrollar todos los algoritmos que le den la utilidad práctica que tiene.

Teniendo en cuenta que yo conocía ya ligeramente AutoCAD a nivel de simple usuario, y que este programa no se limita a hacer los dibujos encomendados, sino que también lleva asociado el lenguaje de programación Visual LISP, es por lo que me he decidido a hacer el proyecto utilizando este camino. Además, considerando que AutoCAD es uno de los programas de diseño gráfico con mayores prestaciones, pueden aparecer utilidades gráficas muy interesantes para ser aplicadas a los grafos. Como aliciente adicional digamos que, por ser AutoCAD una herramienta muy popular entre los arquitectos y los ingenieros de diseño, en caso de que estos titulados hayan de utilizar grafos en algún momento de su actividad profesional, quizás les puedan ser útiles los resultados que se obtengan en el presente proyecto.

Visual LISP tiene su propio conjunto de ventanas y menús propios, pero no puede ejecutarse independientemente de AutoCAD., es decir para entrar en Visual LISP hay que tomar esta opción dentro del menú *Herramientas* de AutoCAD. Hay que señalar sin embargo que, una vez en Visual LISP sus métodos se parecen poco a los utilizados por AutoCAD, por lo que se puede ser un experto en hacer dibujos con AutoCAD y no saber nada de Visual LISP, y viceversa.

Por lo tanto, antes de desarrollar el objetivo final del proyecto, el primer paso ha sido adquirir la formación necesaria en el lenguaje Visual LISP para poder resolver los problemas de programación que se presentan al desarrollar la Teoría de Grafos. Naturalmente, he de confesar que mis nociones de Visual LISP no han llegado hasta los últimos conocimientos del lenguaje, pues eso hubiera supuesto mucho más tiempo de preparación previa y no hubiera podido presentar el proyecto dentro del plazo legal. Sin embargo han sido suficientes para cumplir los objetivos propuestos.

En cuanto a la comunicación del usuario con el programa para la entrada y salida de datos, la intención inicial fue la de usar un sistema de creación de cuadros de diálogo para que la interfaz de usuario fuera de forma gráfica utilizando exclusivamente el ratón. Desgraciadamente, en el momento de iniciar el proyecto, Visual LISP carecía de medios propios para la creación de cuadros de diálogo que aprovecharan las múltiples posibilidades que brinda el sistema de ventanas de Windows, y los intentos realizados para encontrar, entre los entornos visuales existentes, uno que se adaptara a las características de Visual LISP, fueron infructuosos. En consecuencia, he incorporado al proyecto la construcción personal de una interfaz gráfica rudimentaria para Visual LISP que me ha servido para intercambiar información con el programa de una forma agradable utilizando únicamente el ratón. No sé si actualmente Visual LISP ya dispone de un entorno más avanzado de interfaz de usuario.

Dado que la cantidad de problemas que pueden plantearse y resolverse con grafos es inconmensurable, y por tanto inabarcable para un proyecto de las características del presente, he de reconocer que este proyecto no está cerrado, en el sentido de que es ampliable a la construcción de nuevos algoritmos, y mejorable en cuanto a la presentación y posibilidades gráficas del mismo. Esto es habitual en Informática, pues es conocido que la mayoría de los grandes programas existentes en el mercado sacan cada cierto tiempo versiones nuevas de los mismos, y, aunque esto lo digo a título exclusivamente personal, no siempre mejores en todas las facetas que las versiones anteriores. Así pues, no descarto que, una vez realizada la evaluación del proyecto tal como está actualmente, siga trabajando en él.

Como bien saben todos los que se dedican a la programación, una de las tareas más difíciles de la misma es prever las posibles situaciones singulares que se pueden

dar , lo que obliga en tales casos, a tener preparada la respuesta adecuada del programa a fin de que esos casos excepcionales no provoquen una iteración infinita o una brusca ruptura del mismo. Puedo asegurar que he meditado muchísimo para detectar esas posibles situaciones desagradables que pudieran darse, pero también estoy seguro de que alguna se me habrá escapado, y por lo tanto no es descartable que a algún usuario del programa, cuando menos se lo espere, se le “cuelgue” (como se dice en el argot informático coloquial).

Por si esa situación se produjera, pido disculpas anticipadamente, y ruego a la posible víctima de esa circunstancia que se ponga en contacto conmigo para subsanar el problema.

Mis dos direcciones de correo electrónico son: moblagar@upv.es y modestoblanes@ono.com.

2. Agradecimientos

Me hubiera gustado escribir esta sección al principio de la presentación del proyecto, pero, para no vulnerar la normativa oficial que establece la forma del inicio de la presentación, pasaré en este momento a expresar mi gratitud a las personas que son merecedoras de ella.

- Agradezco a mi esposa y mis hijos su apoyo y comprensión, al entender que una persona de mi edad, en lugar de instalarse en la tranquilidad del retiro laboral, sea capaz de esforzarse y mantener la ilusión por ser creativa.
- Agradezco a la directora del proyecto D^a Cristina Jordán Lluch todas sus sugerencias y correcciones, y especialmente su paciencia, virtud que escasea en este mundillo informático de las prisas y el nerviosismo, por haberme soportado, sin dar muestras de cansancio, durante el mucho tiempo que ha durado la gestación de este trabajo.
- Agradezco a los profesores de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática de la UPV sus enseñanzas y dedicación a lo largo del tiempo que han durado mis estudios.
- Agradezco finalmente a los futuros, y probablemente anónimos, lectores o usuarios de este trabajo el interés que puedan mostrar por conocerlo, y ese agradecimiento será todavía mayor si, abandonando el anonimato, recibo la comunicación de alguien que, a pesar de la modestia del trabajo, se ha interesado por el mismo, pues en este tipo de estudios, ya que no hay una compensación económica, sí que es gratificante saber que a alguna persona le pueda resultar atractivo lo que aquí se ha desarrollado.

3. Objetivos

El objetivo general de esta aplicación es:

Proporcionar al usuario una aplicación capaz de realizar diversas tareas con grafos y multigrafos mediante la creación y utilización de dibujos construidos en el entorno de AutoCAD 2013, y todo ello apoyado en una interfaz gráfica con el uso casi exclusivo del ratón.

A fin de concretar más cuáles son esas tareas a las que alude el párrafo anterior vamos a enumerar los objetivos parciales que se ha pretendido conseguir. Si alguno de los términos usados no le resulta familiar al lector, le remitimos al apartado 4, donde están las definiciones de todos los posibles conceptos dudosos.

- Crear grafos, eligiendo previamente si han de ser dirigidos o no dirigidos, ponderados o no, simples o no.
- Crear multigrafos, eligiendo previamente si han de ser dirigidos o no, simples o no.
- Elegir, en el momento de la generación del grafo, el método de creación de los nodos: de forma manual, es decir, uno a uno y colocándolos en el lugar que queramos, o de forma automática, es decir, indicando la cantidad de nodos a introducir y dejando que el programa determine su posición en el área de dibujo.
- Elegir, en el momento de la generación del grafo, el método de creación de las aristas o arcos: de forma manual, es decir, una a una marcando manualmente ambos extremos, o de forma automática, es decir, indicando sobre las casillas de una matriz los enlaces deseados. Existe la posibilidad de que las aristas o arcos sean bucles, si el grafo no es simple.
- Crear nuevos grafos que convivan en pantalla con otros grafos ya existentes.
- Ocultar momentáneamente la imagen de un grafo, y recuperarla, todo ello sin que el grafo haya sido eliminado de la sesión.
- Guardar, en el lugar deseado de una estructura de directorios, un grafo creado, utilizando para el almacenaje un archivo en formato texto.
- Abrir, desde el lugar del árbol de directorios en que se encuentre, un grafo que se ha almacenado en formato texto.
- Guardar en un lugar distinto o con un nombre distinto un grafo que ya se ha guardado anteriormente (es decir, “Guardar como”).

- Eliminar un grafo con el que ya no interesa trabajar en esa sesión.
- Añadir a un grafo ya creado nuevos nodos o nuevos enlaces.
- Borrar nodos o enlaces de un grafo ya creado
- Modificar el nombre de un grafo ya creado.
- Modificar el nombre de un nodo ya creado.
- Modificar la posición en pantalla del nombre de un nodo.
- Trasladar en bloque un grafo a otro lugar de la pantalla.
- Modificar la posición de un nodo ya creado al tiempo que los enlaces incidentes en él.
- Modificar la forma de un enlace, es decir, transformar un enlace ya creado en otro curvilíneo que pase por el punto deseado.
- Modificar la posición de la punta de flecha de un arco ya creado en un grafo dirigido.
- Modificar el valor del peso de un enlace ya creado en un grafo ponderado.
- Modificar la posición del peso de un enlace ya creado en un grafo ponderado.
- Consultar el valor de s en el caso de un multigrafo s -grafo.
- Consultar si un grafo no dirigido es o no conexo, y en caso de que no lo sea saber cuáles son sus componentes conexas.
- Consultar si un grafo dirigido es o no fuertemente conexo o débilmente conexo y hallar sus componentes respectivas.
- Consultar las aristas de corte y los vértices de corte de un grafo no dirigido.
- Consultar si un grafo es o no regular, y si es o no completo
- Consultar si un grafo es o no bipartido, y en caso de que lo sea hallar una partición del conjunto de nodos en dos conjuntos. Saber si es o no bipartido completo.
- Consultar si un grafo no dirigido es o no acíclico, y si es o no árbol.
- Consultar si un grafo dirigido es o no arborescencia, y en caso de que lo sea saber si es binaria, y si es binaria regular.
- Consultar si un grafo es o no euleriano, y en caso afirmativo hallar un ciclo euleriano.
- Consultar si un grafo tiene o no cadena euleriana, y en caso afirmativo hallar una cadena euleriana.



- Consultar si un grafo no dirigido es o no hamiltoniano, y en caso afirmativo hallar un ciclo hamiltoniano si el grafo es no ponderado, y el ciclo hamiltoniano de mínimo peso si el grafo es ponderado.
- Consultar si un grafo dirigido tiene o no camino hamiltoniano, y en caso afirmativo hallar un camino hamiltoniano si el grafo es no ponderado, y el camino hamiltoniano de mínimo peso si el grafo es ponderado.
- Consultar el grado de un nodo si el grafo es no dirigido, y los grados de entrada y salida si es dirigido.
- Consultar las matrices de adyacencia, costes y multiplicidades en el caso de un grafo no ponderado, un grafo ponderado y un multigrafo, respectivamente.
- Consultar si dos grafos del área de trabajo son o no isomorfos.
- Consultar si dos grafos del área de trabajo cumplen que uno es subgrafo o supergrafo de otro.
- Hallar el grafo subyacente de un grafo dirigido dado.

4. Definiciones utilizadas

Vamos a definir y enumerar en orden alfabético, los conceptos que hemos utilizado, en el sentido que se les ha dado en este proyecto. Aunque probablemente la mayoría de ellos serán conocidos por el lector, conviene establecer con claridad el sentido exacto que van a tener en este trabajo, ya que puede ocurrir que un mismo concepto sea nombrado en otros textos de forma diferente.

Esta lista de definiciones se ha dividido en dos secciones: la de los términos relativos a la teoría general de Grafos, y la de aquellos términos acuñados por nosotros que sirven para identificar los elementos que aparecen en el desarrollo del programa.

Cuando alguna palabra de las definiciones aparezca escrita en letra *cursiva*, esto significará que dicha palabra también aparece definida en el lugar correspondiente de este vocabulario.

DEFINICIONES DE LA TEORÍA GENERAL DE GRAFOS

árbol: *Grafo no dirigido conexo acíclico.*

arborescencia: *Grafo dirigido acíclico tal que el grado de entrada de todo vértice excepto el de uno, al que llamamos raíz, es 1, siendo el grado de entrada de la raíz 0.*

arborescencia binaria: *Arborescencia en la que todos los vértices tienen grado de salida menor o igual que dos.*

arborescencia binaria regular: *Arborescencia binaria en la que todos los vértices tienen grado de salida cero ó dos.*

arco: *Cada uno de los pares ordenados del conjunto E de un grafo dirigido.*

arista: *Cada uno de los pares no ordenados del conjunto E de un grafo no dirigido.*

arista de corte: En un *grafo no dirigido* es toda *arista* tal que, en caso de que sea suprimida, el número de *componentes conexas* del *subgrafo* resultante es mayor que el número de *componentes conexas* del *grafo no dirigido* inicial.

cadena: Sucesión finita de *vértices* y *enlaces* de un *grafo* en la que se alternan *vértices* y *enlaces*, empezando y acabando en un *vértice*: $v_0 e_1 v_1 e_2 v_2 \dots e_k v_k$, de forma que cada enlace e_i tiene como *extremos* los dos *vértices* v_{i-1} y v_i entre los que se encuentra (v_{i-1} como *extremo inicial* y v_i como *extremo final* si es un *grafo dirigido*). Por abuso de lenguaje escribiremos la *cadena* omitiendo los *enlaces*, siempre que se trate de un *grafo* que no sea *multigrafo*, o, en el caso de que lo sea, cuando no tenga relevancia cuál sea el *enlace* considerado de entre los varios que pueda haber entre dos mismos *vértices*.

cadena cerrada: *Cadena* en la que los *vértices* inicial y final coinciden.

cadena euleriana: *Cadena* que contiene una sola vez a todos y cada uno de los *enlaces* del *grafo*.

cadena simple: *Cadena* en la que todos los *enlaces* de la misma son distintos dos a dos.

camino: *Cadena* en la que todos los *vértices* de la misma son distintos dos a dos, excepto quizá el primero y el último que pueden ser iguales, en cuyo caso se llama *ciclo*.

camino hamiltoniano: En un *grafo* (o *multigrafo*) *no dirigido*, *camino* que contiene una sola vez todos y cada uno de los *vértices* del *grafo*.

ciclo: *Camino simple cerrado*.

ciclo euleriano: *Cadena euleriana* en la que el *vértice* inicial y el *vértice* final de la *cadena* coinciden.

ciclo hamiltoniano: En un *grafo* (o *multigrafo*) *no dirigido*, *ciclo* que contiene una sola vez todos y cada uno de los *vértices* del *grafo*.

componente conexas: En un *grafo* (o *multigrafo*) *no dirigido* G , es un *subgrafo conexo* H tal que no existe ningún otro *subgrafo conexo* K que sea *supergrafo* de H .

enlace: Término que designa tanto a las *aristas* de un *grafo no dirigido* como a los *arcos* de un *grafo dirigido*.

extremo: Cada uno de los dos puntos que definen una *arista* en un *grafo no dirigido* o un *arco* en un *grafo dirigido*.

extremo final: Dado un *arco* de un *grafo dirigido*, es el segundo punto del *arco*.

extremo inicial: Dado un *arco* de un *grafo dirigido*, es el primer punto del *arco*.

grado: Dado un *nodo* de un *grafo* (o *multigrafo*) *no dirigido*, es el número de *aristas* de las que dicho *nodo* es *extremo*, teniendo en cuenta que si la *arista* es un *bucle*, dicha *arista* vale por 2 en el cálculo del *grado*.

grado de entrada: Dado un *nodo* de un *grafo* (o *multigrafo*) *dirigido*, es el número de *arcos* de los que dicho *nodo* es *extremo final*.

grado de salida: Dado un *nodo* de un *grafo* (o *multigrafo*) *dirigido*, es el número de *arcos* de los que dicho *nodo* es *extremo inicial*.

grafo: Cuando utilicemos esta palabra sin ningún adjetivo adicional significará que aquello de lo que estamos hablando es aplicable tanto a los *grafos no dirigidos* como a los *grafos dirigidos* y a los *multigrafos*.

grafo acíclico: *Grafo* (o *multigrafo*) en el que no existen *ciclos* ni *bucles*.

grafo bipartido: *Grafo* (o *multigrafo*) *no dirigido* en el que existe una bipartición (V_1, V_2) del conjunto de *vértices* de manera que todas y cada una de las *aristas* tienen un *extremo* en V_1 y el otro en V_2 , o bien *grafo* (o *multigrafo*) *dirigido* cuyo *grafo subyacente* es *bipartido*.



grafo bipartido completo: *Grafo bipartido* en el que cada *vértice* de V_1 está *enlazado* con todos y cada uno de los *vértices* de V_2 , y viceversa.

grafo completo: *Grafo no dirigido simple* en el que todo par de *vértices* distintos tiene una *arista* que los *enlaza*, o bien *grafo dirigido simple* cuyo *grafo subyacente* es *completo*.

grafo conexo: *Grafo* (o *multigrafo*) *no dirigido* en el que, dados dos *vértices* cualesquiera distintos, podemos encontrar una *cadena* que los *enlaza*.

grafo débilmente conexo: *Grafo* (o *multigrafo*) *dirigido* en el que dados dos *vértices* cualesquiera distintos podemos encontrar una *cadena* en el *grafo subyacente* que *enlaza* el primer *vértice* con el segundo.

grafo dirigido: Estructura formada por un conjunto de puntos no vacío V y un conjunto E (que puede ser vacío) de pares ordenados de puntos (no necesariamente distintos) de V . Los puntos se llaman *nodos* o *vértices* y los pares se llaman *arcos*. Gráficamente, los *nodos* son representados por pequeños círculos y los *arcos* por líneas (rectas o curvas) dotadas de puntas de flecha que se dirigen desde el primer punto del par (llamado *extremo inicial*) hasta el segundo punto del par (llamado *extremo final*). Se considerará que desde un *extremo inicial* hasta un *extremo final* no puede haber más de un *arco*, aunque sí que puede haber otro *arco* en sentido contrario. . Por abuso de lenguaje, identificaremos un *grafo* con su dibujo.

grafo euleriano: *Grafo* que tiene un *ciclo euleriano*.

grafo fuertemente conexo: *Grafo* (o *multigrafo*) *dirigido* en el que dados dos *vértices* cualesquiera distintos podemos encontrar una *cadena* que *enlaza* el primer *vértice* con el segundo y otra *cadena* que *enlaza* el segundo con el primero.

grafo hamiltoniano: *Grafo* (o *multigrafo*) *no dirigido* que tiene un *ciclo hamiltoniano*.

grafo no dirigido: Estructura formada por un conjunto de puntos no vacío V y un conjunto E (que puede ser vacío) de pares no ordenados de puntos (no necesariamente distintos) de V . Los puntos se llaman *nodos* o *vértices* y los pares se llaman *aristas*.

Los dos puntos que definen la arista se llaman *extremos* de la arista. Se considerará que entre dos *nodos* no puede haber más de una *arista*. Gráficamente, los *nodos* son representados por pequeños círculos y las *aristas* por líneas (rectas o curvas) que enlazan los dos elementos del par no ordenado. Por abuso de lenguaje, identificaremos un *grafo* con su dibujo.

grafo ponderado: *Grafo* (no *multigrafo*) en el que cada *enlace* lleva asociado un valor llamado *peso*.

grafo regular: *Grafo no dirigido simple* en el que todos los *nodos* tienen el mismo *grado*, o bien *grafo dirigido simple* cuyo *grafo subyacente* es *regular*. Cuando el *grado* mencionado es k decimos que el *grafo* es *k-regular*.

grafo simple: *Grafo* en el que no se admite la existencia de *bucles*.

grafo subyacente: Dado un *grafo dirigido* G , su *grafo subyacente* es un *grafo no dirigido* cuyos *vértices* son los mismos de G y en el que dos *vértices* están *enlazados* si existe un *arco* en G que *enlaza* dichos *vértices*.

grafos isomorfos: Aquellos *grafos* G y H en los que se puede establecer una aplicación biyectiva ϕ entre sus conjuntos de *vértices*, $V(G)$ y $V(H)$, tal que si (u,v) es un *enlace* de G , entonces $(\phi(u), \phi(v))$ es un *enlace* de H , y viceversa.

longitud de cadena: En un *grafo no ponderado* es el número de *enlaces* de la *cadena*. En un *grafo ponderado* es la suma de los *pesos* de todos los *enlaces* que forman la *cadena*.

matriz de acceso: En un *grafo* con n *vértices* numerados v_1, v_2, \dots, v_n , es una matriz de orden $n \times n$ que tiene un 1 en la posición (i,j) si existe una *cadena* que empieza en v_i y acaba en v_j , y tiene un 0 en todas las demás posiciones.

matriz de adyacencia: En un *grafo* (no *multigrafo*) con n *vértices* que están numerados: v_1, v_2, \dots, v_n , es una matriz de orden $n \times n$ que tiene un 1 en la posición (i,j) si existe una *arista* de *extremos* v_i, v_j (en caso de *grafos no dirigidos*) o un *arco* de *extremo inicial* v_i y *extremo final* v_j (en caso de *grafos dirigidos*), y tiene un 0 en todas las demás posiciones.

matriz de costes: En un *grafo ponderado* con n vértices numerados : v_1, v_2, \dots, v_n , es una matriz de orden $n \times n$ que tiene un 0 en las posiciones (i,i) de la diagonal principal, el valor del *peso* $p(v_i, v_j)$ en las posiciones (i,j) tales que existe una *arista* de *extremos* v_i, v_j (en caso de *grafos no dirigidos*) o un *arco* de *extremo inicial* v_i y *extremo final* v_j (en caso de *grafos dirigidos*), y un ∞ en los demás casos. Por exigencias tipográficas hemos representado en este programa el infinito ∞ mediante una barra /.

matriz de multiplicidades: En un *multigrafo* con n vértices numerados en un orden: v_1, v_2, \dots, v_n , es una matriz de orden $n \times n$ que tiene en la posición (i,j) un número h igual a la cantidad de *aristas* de *extremos* v_i, v_j (en caso de *grafos no dirigidos*) o la cantidad de *arcos* de *extremo inicial* v_i y *extremo final* v_j (en caso de *grafos dirigidos*), y tiene un 0 en todas las demás posiciones.

multigrafo: *Grafo no dirigido* o *dirigido* en el que se admite que entre dos *nodos* pueda haber más de una *arista* o *arco* respectivamente. Admitiremos también que pueda haber *bucles* en un *nodo*, e incluso *bucles* múltiples en un mismo *nodo*. No admitiremos que pueda ser *ponderado*.

nodo: Cada uno de los puntos del conjunto V de un *grafo*. Se le denomina también *vértice*.

peso: Valor asociado a un *enlace* en el caso de *grafos ponderados*. En este programa sólo se consideran *pesos* positivos.

raíz: En una *arborescencia*, es el único *vértice* cuyo *grado de entrada* es 0.

s-grafo: *Multigrafo* en el que s es el mayor número de *aristas* existentes entre dos *vértices* cualesquiera (en caso de *no dirigidos*), o el mayor número de *arcos* desde un *extremo inicial* hasta otro *extremo final* cualesquiera (en caso de *dirigidos*).

subgrafo: Dados dos *grafos* G y H decimos que H es *subgrafo* de G si el conjunto de *vértices* de H , $V(H)$, está contenido en el conjunto de *vértices* de G , $V(G)$, y el conjunto de *enlaces* de H , $E(H)$, está contenido en el conjunto de *enlaces* de G , $E(G)$. Además, exigiremos que ambos *grafos* tengan las mismas características en cuanto a que si uno es *dirigido* o no y *ponderado* o no, el otro también debe serlo.

supergrafo: Dados dos *grafos* G y H decimos que H es *supergrafo* de G si el conjunto de *vértices* de G , $V(G)$, está contenido en el conjunto de *vértices* de H , $V(H)$, y el conjunto de *enlaces* de G , $E(G)$, está contenido en el conjunto de *enlaces* de H , $E(H)$. Además, exigiremos que ambos *grafos* tengan las mismas características en cuanto a que si uno es *dirigido* o no y *ponderado* o no, el otro también debe serlo.

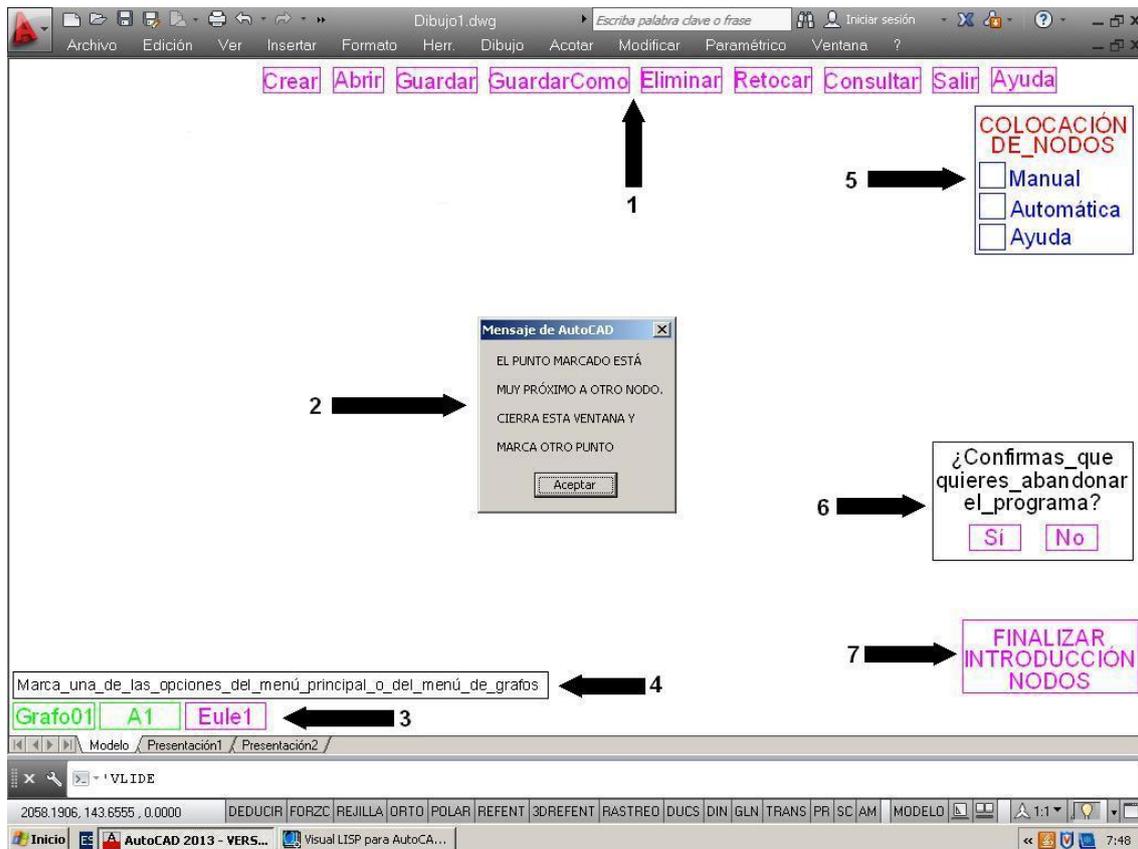
vértice: Cada uno de los puntos del conjunto V de un *grafo*. Se le denomina también *nodo*.

vértice de corte: En un *grafo no dirigido* es todo *vértice* tal que, en caso de que sea suprimido junto a todas las *aristas* que lo tienen por *extremo*, el número de *componentes conexas* del *subgrafo* resultante es mayor que el número de *componentes conexas* del *grafo no dirigido* inicial.



DEFINICIONES PARTICULARES DE NUESTRO PROGRAMA

Algunas de las definiciones siguientes aparecen con un número entre paréntesis para que sean ilustradas con el siguiente dibujo de la pantalla.



botón finalizar (7): Sirve para ordenar el final de la introducción manual de nodos o enlaces. Está situado en la parte inferior derecha de la pantalla.

grafo activo: De entre todos los grafos que tenemos en el *menú de grafos* en un determinado momento, es aquel sobre el que se efectuarán a continuación las posibles acciones del *menú principal*.

mensaje de AutoCAD (2): Es una ventana que aparecerá en el centro de la pantalla como salida de algún resultado o para pedirnos que realicemos alguna acción. Además, las ayudas que forman parte de cada *menú transitorio* se mostrarán de esta manera cuando se les invoque. Esta ventana se puede arrastrar con el ratón al lugar deseado. El programa no continuará mientras no la cerremos pinchando en Aceptar.

mensaje guía (4): Es el mensaje que aparece en una línea horizontal en la parte inferior del área de trabajo, sobre el *menú de grafos* y que en cada momento nos indica la acción que debemos realizar. En el mensaje no se admiten espacios en blanco, por lo que el espacio entre palabras es sustituido por un guión bajo.

menú confirmación (6): Tiene dos respuestas posibles: Sí y No, y sirve para confirmar algunas órdenes como las de borrado o abandono del programa. Se sitúa en la parte derecha de la pantalla. Aquí tampoco se admiten espacios entre palabras.

menú de grafos (3): Es el menú del área de trabajo que se encuentra en una línea horizontal en la parte inferior de la pantalla y que está formado por todos los iconos de los grafos que tenemos abiertos en ese momento. De entre todos ellos, uno solo es el *grafo activo*, el cual aparece en color magenta, y el resto aparece en color verde claro si el fondo de la pantalla es blanco, y en color azul claro si el fondo de la pantalla es negro. Naturalmente al empezar la sesión este menú no aparece, y sólo lo hace cuando se crea o se abre algún grafo.

menú principal (1): Es el menú del área de trabajo que se encuentra en una línea horizontal en la parte superior de la pantalla y que está formado por las siguientes opciones:

Crear , Abrir , Guardar , GuardarComo , Eliminar , Retocar , Consultar , Salir , Ayuda

Las opciones que se encuentran operativas en cada momento, es decir, las que actuarán si pinchamos sobre ellas están en color magenta, mientras que las no operativas están en color verde claro si el fondo de la pantalla es blanco, y en color azul claro si el fondo de la pantalla es negro.

menús transitorios (5): Son los menús que aparecen cuando hay que dar alguna orden al programa y que desaparecen cuando esa orden se está cumpliendo. Si dentro del cuadrado adjunto a una opción de un menú transitorio se encuentra la palabra Sí o No, al pinchar sobre el cuadrado esa opción cambia a la contraria. Los menús transitorios se sitúan en la parte superior derecha de la pantalla. En sus textos no se admiten espacios en blanco, por lo que el espacio entre palabras se sustituye por un guión bajo.



5. AutoCAD con Visual LISP

AutoCAD es un software para realizar diseños asistidos por ordenador y es en la actualidad uno de los más utilizados en Arquitectura y en Ingeniería del Diseño.

Desde su primera aparición en los años 80 ha ido evolucionando constantemente, saliendo cada año versiones nuevas. Aunque utilicé al principio del trabajo la del año 2005, que es la que tenía cargada en mi ordenador, posteriormente y aprovechando el convenio de la Universidad Politécnica con la empresa propietaria, me descargué la versión de 2013 para estudiantes, que es la que he utilizado en este trabajo, en un entorno Windows. Desconozco si la aplicación que he hecho funcionaría en una versión anterior, y supongo que sí que lo hará en las versiones posteriores 2014 y 2015.

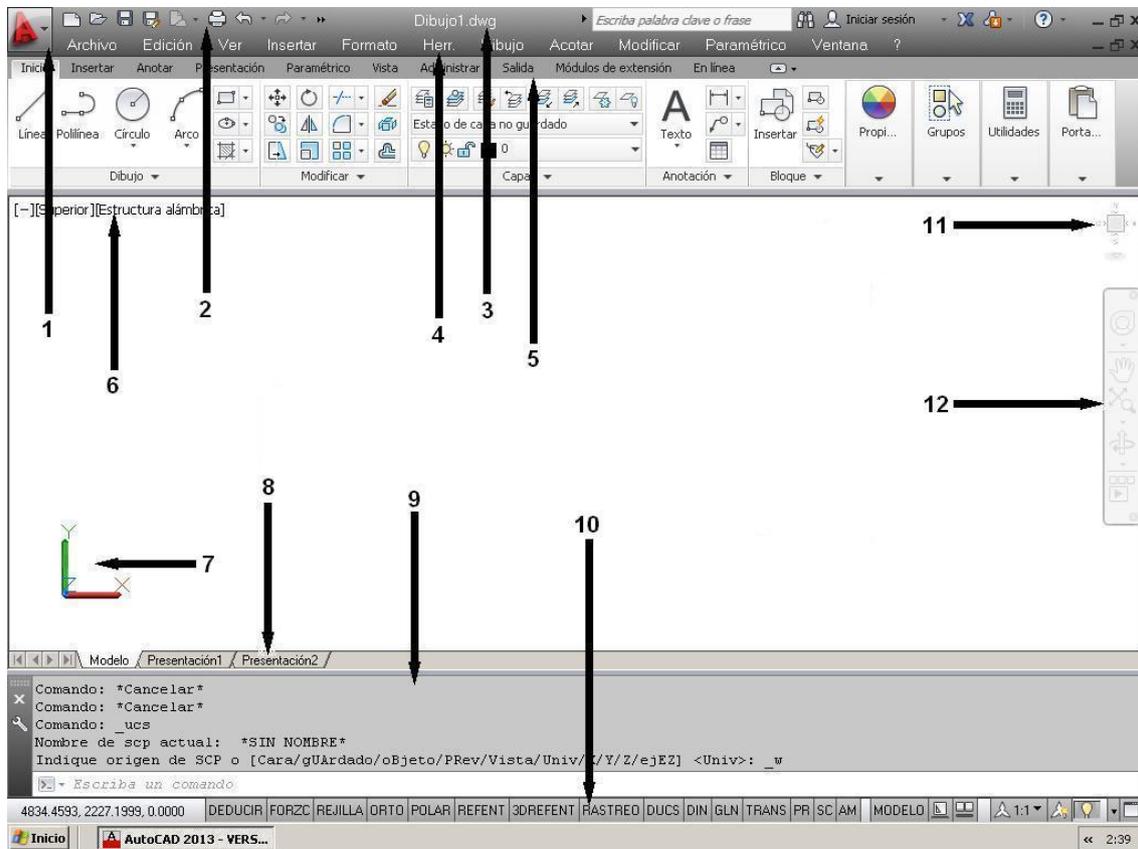
Aunque el AutoCAD actual goza de unas prestaciones que permiten la confección de dibujos sofisticadísimos, el hecho de haberlo elegido para hacer este proyecto no es porque la realización de los dibujos de los grafos con ordenador requieran un software muy complejo, pues estos dibujos son relativamente sencillos, sino porque AutoCAD, además de hacer buenos dibujos, lleva asociado el lenguaje de programación Visual LISP, que sirve no sólo para dibujar, sino también para desarrollar los algoritmos que resuelven problemas típicos de grafos, cosa que no hacen otros programas de diseño gráfico.

Visual LISP necesita de AutoCAD para poder arrancar, pero sin embargo una vez hecho esto, el desarrollo de Visual LISP es bastante independiente de AutoCAD, de manera que muy pocas de las prestaciones ofrecidas por AutoCAD pueden ser utilizadas por Visual LISP; se puede ser un experto en Visual LISP sin saber casi nada de AutoCAD y viceversa.

Desgraciadamente, la evolución de Visual LISP no ha ido con la misma rapidez que la de AutoCAD, y presenta algunas carencias respecto a otros programas actuales. Por ejemplo, el número de colores o el de tipos de letra utilizables durante la ejecución del programa es muy limitado.

Naturalmente, la aplicación que hemos hecho está pensada para que pueda ser utilizada por cualquier persona que no tenga prácticamente ningún conocimiento de AutoCAD ni de Visual LISP, pero es evidente que hay que tener unas nociones mínimas que permitan poner en marcha la aplicación, entre ellas el arranque de AutoCAD.

Cuando se arranca AutoCAD, una vez superadas las pantallas de bienvenida y similares, llegamos a la pantalla principal que tiene un aspecto parecido a éste:



En nuestra aplicación no utilizaremos prácticamente ningún elemento de los que aparecen en esa pantalla, pero aún así vamos a dar el nombre y un brevísimo informe de su función, teniendo en cuenta que dichas funciones no serán utilizadas por nosotros cuando estemos desarrollando nuestra aplicación de grafos, sino que sólo sirven a un usuario normal de AutoCAD.

1. **Menú de la aplicación:** Sirve para realizar las operaciones básicas (nuevo, abrir, guardar, imprimir, etc.)
2. **Barra de herramientas de acceso rápido:** Está formada por botones de algunas de las operaciones básicas existentes en el *menú de la aplicación*.
3. **Barra de título:** En ella está el título del dibujo con el que se está trabajando en ese momento. Hasta que se pone un título personalizado al dibujo, su nombre estándar es Dibujo.dwg, ya que dwg es la extensión por defecto con la que AutoCAD guarda sus dibujos.
4. **Barra de menús:** En esta barra están los menús de AutoCAD, que nos dan todos los instrumentos para dibujar. Si queremos ocultar esta barra pinchamos en la mini-doble-flecha que se encuentra a la derecha de la *barra de herramientas de acceso rápido* y aparecerá una *barrita con el nombre Dibujo y anotación*. Aquí pincharemos en la flechita que se encuentra más a la derecha, con lo que se

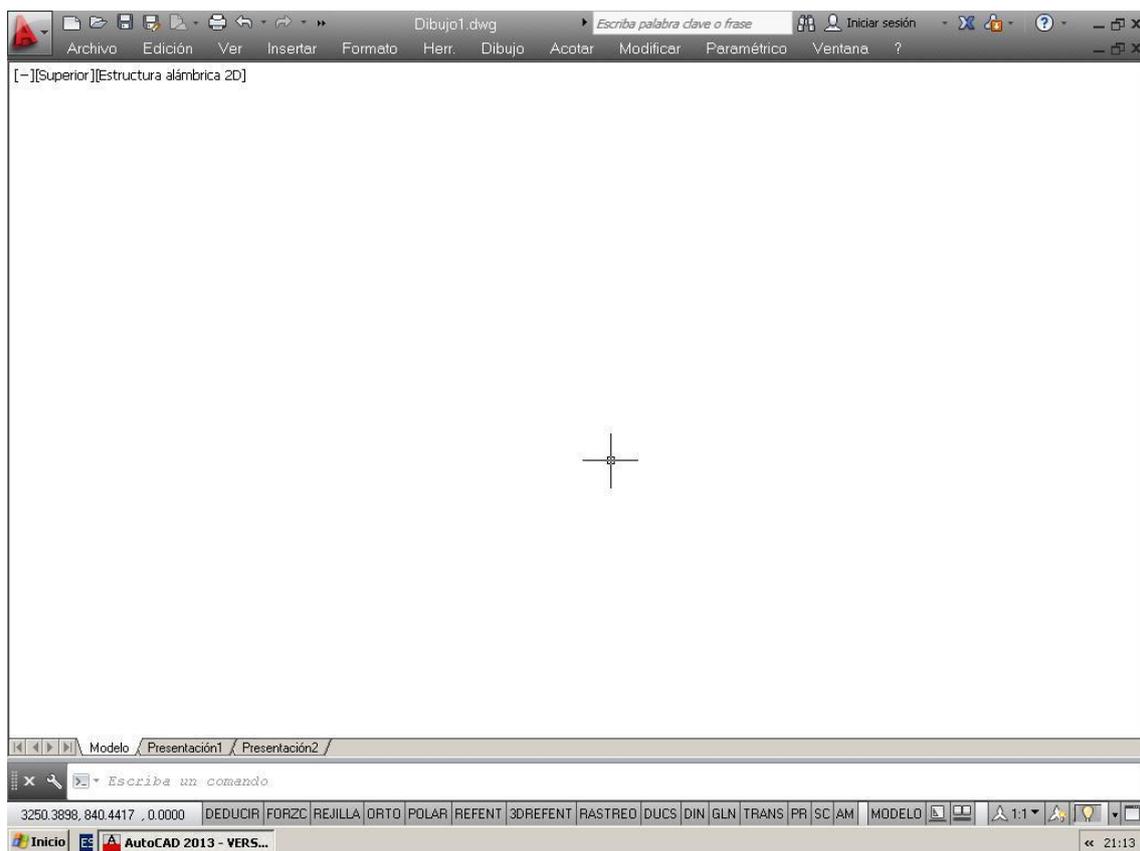
desplegará un menú, en el que seleccionaremos Ocultar barra de menús. Para que vuelva a aparecer la *barra de menús* repetimos esta operación seleccionando finalmente Mostrar barra de menús.

5. **Cinta de opciones:** Aquí están, en forma de botones, todas las opciones que permiten dibujar. Para ocultarla seleccionamos en la *barra de menús*: Herr.>Paletas>Cinta de opciones. Para que la *Cinta de opciones* vuelva a aparecer repetimos la operación anterior.
6. **Controles de la ventana gráfica:** Sirven para cambiar diversos parámetros, como vistas, estilos visuales, etc. Siempre permanece en pantalla, pero podemos dotarlo de un color que lo haga casi invisible.
7. **Icono SCP (Sistema de Coordenadas Personales):** Muestra la dirección de los ejes X e Y sobre el área de dibujo. Se puede ocultar seleccionando en la *barra de menús*: Ver>Visualización>Icono SCP>ACT. Para mostrarlo repetimos esta operación.
8. **Fichas modelo y presentación:** Normalmente se trabaja en la ficha Modelo aunque en las demás fichas hay otras presentaciones. Conviene saber que a veces, cuando menos lo esperas, aparece en algún lugar de la pantalla una molesta ventanita que lleva dibujada una escuadra sobre un cuadrículado. Para eliminarla pasamos el cursor sin hacer click por encima de las pestañas de las fichas Presentación.
9. **Ventana de comandos:** Sirve para introducir órdenes desde el teclado, así como para introducir los parámetros necesarios para ir creando el dibujo. Se puede aumentar o disminuir su tamaño vertical colocándonos sobre el borde inferior del área de dibujo y subiendo o bajando dicho borde.
10. **Barra de estado:** Con ella sabemos en cada momento el estado del dibujo que estamos haciendo, así como las propiedades que tenemos activadas. En la parte izquierda de la barra aparecen las coordenadas del ratón en ese instante. Una de las opciones de la *barra de estado* es REJILLA, con la cual podemos poner o quitar un cuadrículado en el fondo de la pantalla. Para activar o desactivar cualquier opción pulsamos sobre ella. En principio podemos trabajar teniéndolas todas desactivadas.
11. **ViewCube:** Permite cambiar de vistas 2D a vistas 3D y viceversa. Muchas veces no se ve, pero existe, lo cual se puede comprobar pasando el cursor sobre esa zona superior derecha del área de dibujo, y se mostrará el icono. Para ocultarlo del todo hemos de pinchar sobre el signo [-] que se encuentra en la parte izquierda de los *controles de la ventana gráfica*, y en el menú que se desplegará pinchamos sobre ViewCube para desactivarlo. Para volverlo a activar repetimos esta operación.
12. **Barra de navegación:** Permite disponer de diversas ayudas como vistas, animaciones, etc. Para ocultarla pinchamos sobre el signo [-] que se encuentra en la parte izquierda de los *controles de la ventana gráfica*, y en el menú que se desplegará pinchamos sobre Barra de navegación para desactivarlo. Para volverlo a activar repetimos esta operación.

Aunque hemos hecho una ligera descripción de los elementos de la ventana de AutoCAD, realmente no vamos a utilizar casi ninguno de ellos, ya que antes de entrar en nuestra aplicación de grafos hemos de ocultar algunos, concretamente la *cinta de opciones*, el *icono SCP*, el *ViewCube* y la *barra de navegación*. También conviene reducir la *ventana de comandos* hasta que sólo quede la línea encabezada por Escriba un comando. Todo esto lo hacemos porque en algunos casos la presencia de esos elementos (*icono SCP*, *ViewCube* y *barra de navegación*) dificulta la correcta visión de los que nosotros vamos a colocar, y en otros (*cinta de opciones* y *ventana de comandos*) porque de esa forma ganamos espacio en el área de dibujo para los gráficos que haremos nosotros.

Algunas de las modificaciones anteriores permanecen cuando cerramos la sesión de AutoCAD, pero otras no lo hacen y hay que hacer la modificación cada vez que abrimos una sesión.

Hechas esas modificaciones, el aspecto que debe tener la pantalla de AutoCAD para trabajar con nuestra aplicación de grafos debe ser similar a éste:



Existen algunos parámetros que no pueden ser modificados una vez se ha entrado en la aplicación de grafos, por lo que si nos interesa cambiarlos se debe hacer previamente.

Uno es el color del fondo de pantalla. Para cambiarlo colocamos el cursor sobre el área de dibujo y pulsamos el botón derecho del ratón. En el menú desplegable que saldrá pinchamos en Opciones>Visual.>Colores>Fondo uniforme y seguidamente elegimos el color deseado, que para nuestra aplicación de grafos sólo puede ser el blanco o el negro. También es conveniente que, una vez dentro de ese menú, elijamos el mismo color del fondo de pantalla para el *control de la ventana gráfica*, pues de esa manera su presencia pasa más inadvertida, aunque si pasamos el cursor por esa zona superior izquierda del área de dibujo veremos que continúa allí.

Después de haber acondicionado el entorno AutoCAD a nuestro gusto procederemos a cargar nuestra aplicación de grafos. Para eso, en la *barra de menús* pulsaremos Herr.>AutoLISP>Cargar aplicación, y en el cuadro Cargar/Descargar aplicaciones que aparecerá buscamos el directorio donde hayamos colocado el icono PFC del programa y después de marcarlo pulsamos Cargar, con lo cual, si no ha habido ningún problema, aparecerá en una ventanita situada en la parte inferior del cuadro el mensaje PFC.fas correctamente cargado, y cerramos el cuadro. De esta forma la aplicación ya está cargada y podemos arrancarla cuando queramos. Para eso, en el único renglón de la *ventana de comandos* que habremos dejado, es decir, en el que dice Escriba un comando tecleamos (i) , es decir, abro paréntesis, i latina, que es la primera letra de inicio, y cierro paréntesis, y acabo con ENTER. A partir de ahí seguiremos las instrucciones que aparecen en el manual del usuario, que está desarrollado más adelante.

Aunque ya se ha dicho en repetidas ocasiones, pero lo reitero porque es muy fácil olvidarlo, a partir del momento en que iniciemos nuestra aplicación de grafos hay que ignorar los menús de AutoCAD que permanecen en pantalla, y dejarse guiar solamente por los menús que irán apareciendo en el área de dibujo. Por ejemplo, si estando ya dentro de la aplicación, queremos abrir un grafo, no pulsaremos sobre el icono Abrir de la *barra de herramientas de acceso rápido*, sino que seguiremos las instrucciones que nos dará nuestra aplicación.

Una vez acabada nuestra sesión de trabajo con grafos aparecerá en pantalla el *mensaje de AutoCAD* APLICACIÓN PFC FINALIZADA, lo cual nos confirma que hemos salido de nuestra aplicación. Entonces nos encontraremos de nuevo en el dominio de AutoCAD. Normalmente quedarán en pantalla los restos de los gráficos de los menús y los grafos dibujados que estaban en el área de dibujo en el momento de cerrar la aplicación. Si no los vamos a utilizar para otros menesteres, lo normal es eliminarlos de golpe pulsando en la *barra de menús*: Edición>Seleccionar todo, y una vez hecha la selección pulsar el botón Supr del teclado.

Si ha quedado en pantalla algún grafo que nos parece interesante guardar en el formato dwg de AutoCAD, podemos borrar de la pantalla todos los restos de dibujo que no nos interesen marcándolos y pulsando Supr en el teclado, y seguidamente el icono Guardar de la *barra de herramientas de acceso rápido*. También podemos imprimirlo desde esa posición, ya que no podremos hacerlo desde dentro de la aplicación de grafos.

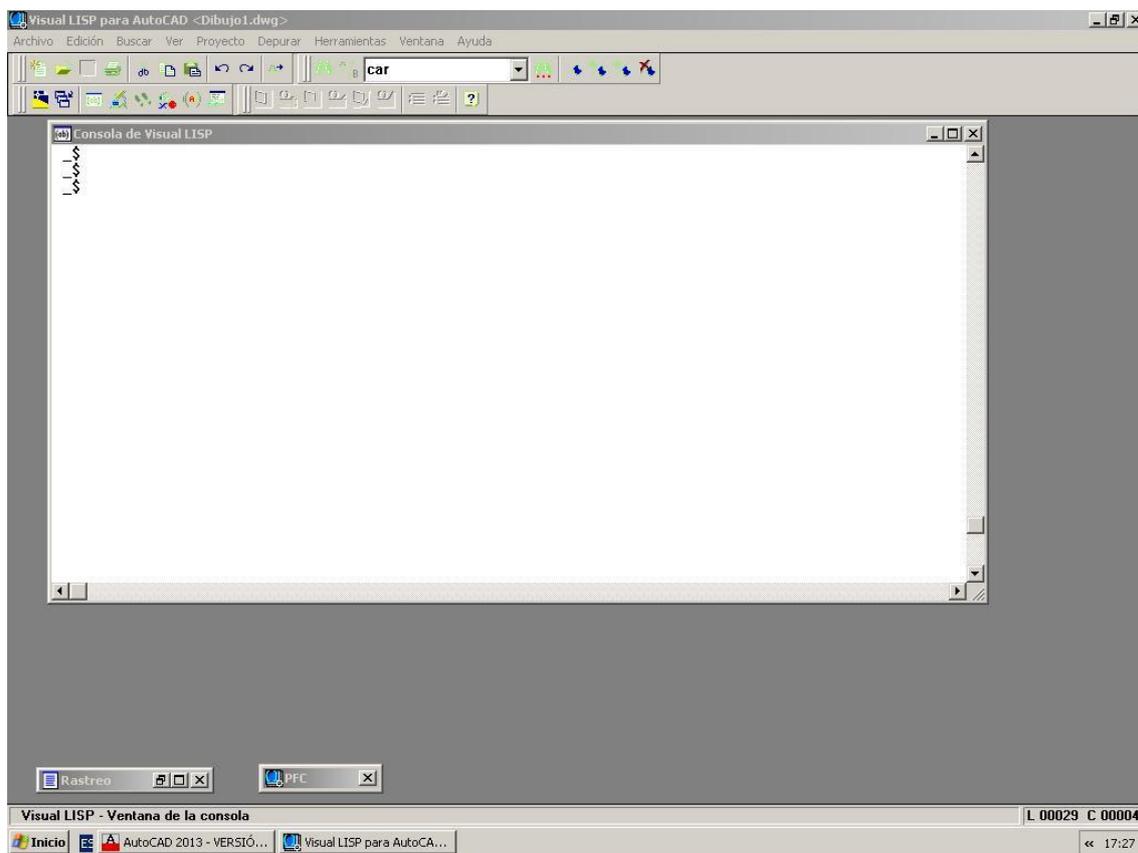
Esta manera de guardar un grafo es la de dibujo simple de AutoCAD, por lo que dicho dibujo no guarda las propiedades de grafo que nos van a permitir aplicar posteriormente los algoritmos. Para poder aplicarlas hay que guardarlo por el procedimiento que se verá posteriormente en el manual del usuario.

Una vez hayamos salido de la aplicación de grafos, si queremos volver a entrar en ella no es necesario volver a cargarla, sino que tan solo escribiremos (i) en la *ventana de comandos* y pulsaremos ENTER.

6. Estructura del programa

Este programa se ha confeccionado siguiendo los pasos propios de un programa Visual LISP. En primer lugar se ha creado la carpeta del proyecto a la que se ha llamado PFC (proyecto fin de carrera). Dentro de ella se han creado dos subcarpetas FAS y TEMP para albergar los archivos creados durante la compilación del proyecto, y se han definido todas las propiedades del modo de compilación del proyecto. Seguidamente se han creado los archivos de código fuente que albergarán todas las instrucciones del proyecto, y que posteriormente veremos. Finalmente se ha compilado el programa creándose el nuevo archivo PFC.fas, que es el que se adjunta en los Anexos del presente trabajo, para ser cargado cuando abramos la aplicación de grafos.

En cuanto a la creación de los archivos de código fuente, se ha hecho uso del Entorno de Desarrollo (IDE) Visual LISP al cual se entra desde la *barra de menús* de AutoCAD, escogiendo la opción Herr.>AutoLISP>Editor de Visual LISP. Al hacer estas operaciones obtendremos una ventana semejante a ésta:



En esta ventana apreciamos los botones típicos de los editores de texto (Nuevo, Abrir, Guardar, etc.) y algunos más que no consideramos necesario describir, los cuales

nos permiten crear los archivos de código fuente necesarios para el programa. También advertimos la presencia de la consola, que sirve para comprobar la corrección del código que se va creando ejecutando las instrucciones individualmente sin esperar a que la redacción de la totalidad del código esté finalizada.

En esta aplicación hemos creado cinco archivos de código fuente que hemos titulado: principal, menús transitorios, auxiliares, geometria y ayudas.

En el archivo principal están las funciones que sirven para hacer las operaciones fundamentales de la actividad, es decir las que figuran en el *menú principal*: crear grafos con sus nodos y enlaces, abrir y guardar archivos, eliminar, consultar, etc.

En el archivo menús transitorios están las funciones que sirven para manejar los *menús transitorios*, controlando todas las opciones que aparecen en ellos.

En el archivo auxiliares están todas las funciones de apoyo a las funciones principales. Suelen agrupar partes de código que se repiten en diversos lugares de otras funciones.

En el archivo geometria están las funciones que controlan las construcciones geométricas que sirven para diseñar los dibujos, tales como construcción de líneas rectas y curvas, arcos de circunferencia, puntas de flecha, etc. Hay que tener en cuenta que, aunque en AutoCAD a nivel de usuario estos elementos geométricos se construyen muy fácilmente, esas prestaciones no se trasladan sin embargo a Visual LISP, por lo que algo tan aparentemente sencillo como colocar una punta de flecha en un arco de circunferencia en el sentido de extremo inicial a extremo final requiere una gran cantidad de código de programa.

Finalmente en el archivo ayudas están todos los mensajes de ayuda que aparecen en los menús. Hay una ayuda general que forma parte del *menú principal* y después en cada *menú transitorio* hay una ayuda relativa exclusivamente a ese menú.

El fundamento de la programación en Visual LISP es la creación de listas de elementos simples y de listas cuyos elementos son a su vez listas, incluso puede haber listas con varios niveles interiores de listas. Al revés de lo que ocurre en otros lenguajes, dentro de una misma lista sus elementos pueden ser heterogéneos. También hay que decir que la programación Visual LISP no es una programación orientada a objetos como pueda serlo Java, y que los argumentos que se pasan a las funciones se pasan por valor y no por referencia. Al igual que en otros lenguajes de programación, en Visual LISP existen variables globales, las cuales tienen efecto para cualquier programa que se

ejecute, y variables locales, las cuales sólo tienen el ámbito de la función donde están definidas y que dejan de existir en cuanto cesa la ejecución del programa que las utiliza.

En nuestro caso se ha definido la variable global grafos, la cual es una lista de los grafos que vamos colocando en el área de trabajo. Cada uno de los elementos de esa lista, es decir cada grafo, es a su vez otra lista que contiene los elementos definitorios del grafo y que son: nombre del grafo, tipo de grafo, nodos, enlaces, letra inicial de los nombres estándar de los nodos, matriz, directorios y archivo donde se guarda, etc.

A su vez los elementos nodos y enlaces son listas de los nodos y enlaces, respectivamente, del grafo.

Cada elemento de la lista nodos representa un nodo del grafo y es a su vez una lista en la que aparecen los elementos definitorios del nodo, es decir: nombre del nodo, entidad del círculo correspondiente, entidad del nombre correspondiente, centro del círculo, punto de colocación del nombre y punto clave del nombre que se colocará en ese punto.

Cada elemento de la lista enlaces representa un enlace y es a su vez una lista en la que aparecen los elementos definitorios del enlace, es decir: nombres de los extremos del enlace, entidad del elemento geométrico (recto o curvo) que lo representa, extremos del segmento (si es un segmento) o centro, radio y ángulos que acotan los extremos (si es un arco de circunferencia), color. Además, si el grafo es ponderado, también aparecerá en la lista la entidad del numerito que indica el peso y el punto de colocación de éste. Si el grafo es dirigido aparecerán también las dos entidades de los segmentitos que forman la punta de flecha, así como los tres puntos que definen la punta de la flecha.

Aunque hemos hecho una brevísima descripción de los fundamentos de Visual LISP en los que se basa el programa, realmente un simple usuario del programa no tiene necesidad de conocer nada de esto, ni de entrar en el editor de Visual LISP.

7. Manual del usuario

Pasos preliminares

Una vez arrancada la aplicación con el tecleo de (i) y ENTER aparecerá un *mensaje de AutoCAD* indicando los pasos a seguir para iniciar el programa.

La primera tarea que hemos de realizar es fijar los límites del área de trabajo, es decir, del rectángulo donde vayan a aparecer dibujos y textos. Para eso el programa nos pedirá, por medio de un *mensaje de AutoCAD*, que marquemos el vértice inferior izquierdo del rectángulo. Una vez cerrada esta ventanita y marcado el punto nos pedirá, con otro *mensaje de AutoCAD*, el vértice superior derecho. De esa forma el programa guardará en las variables globales correspondientes las coordenadas de los cuatro vértices del rectángulo, ya que para muchos cálculos posteriores necesitará estos valores.

Conviene ajustar al máximo a los límites del rectángulo los dos puntos marcados, a fin de aprovechar todo lo posible la superficie de la pantalla, ya que el espacio que queda a la izquierda o debajo del primer punto marcado, o a la derecha o arriba del segundo punto marcado será espacio de la pantalla desperdiciado.

A continuación aparecerá un *menú confirmación* en el que se ha sustituido el Sí y el No por Blanco y Negro, y tenemos que pinchar sobre el color que tiene en ese momento el fondo de la pantalla, y que se mantendrá durante toda la sesión. Como ya se ha dicho en su momento, antes de entrar en la aplicación de grafos se ha de haber fijado el color del fondo de pantalla. Esto se hace para indicarle al programa ese color, ya que el programa no puede reconocerlo por sus propios medios, y lo necesita para algunas tareas posteriores.

Al llegar a este punto aparecerá el *menú principal*, el cual estará en pantalla permanentemente hasta la finalización del programa.

Menú principal

Está formado por las opciones que aparecen en la figura.

Crear **Abrir** **Guardar** **GuardarComo** **Eliminar** **Retocar** **Consultar** **Salir** **Ayuda**

La opción Crear sirve para crear un grafo nuevo. Al marcarla aparecerá el *menú transitorio* CREAR GRAFO

La opción Abrir sirve para abrir un grafo que tenemos guardado. Si hasta ese momento de la sesión no se han abierto ni guardado archivos, al marcar esta opción aparecerá el *menú transitorio* UNIDADES DE DISCO. Cuando en la sesión ya se han abierto o guardado archivos, el programa recuerda el directorio en el que se ha operado por última vez y este directorio por defecto es el que aparecerá en el *menú transitorio* DIRECTORIO DE

La opción Guardar sirve para guardar un grafo ya creado que aún no se ha guardado, o que ya se ha guardado pero que se ha modificado después y se ha de volver a guardar.

El proceso para guardar el grafo no utiliza el procedimiento general de AutoCAD para guardar dibujos a nivel de usuario, ya que nosotros pretendemos guardar el grafo de manera que se pueda recuperar con todas las características necesarias para poder trabajar con él.

Para llevar a cabo esta forma de guardar, he diseñado un modelo de archivo de texto que incorpora las características y elementos fundamentales del grafo, de manera que sea recuperable con posterioridad. Para distinguir los archivos, que guardan grafos creados por este sistema, del resto de archivos, les he puesto la extensión .grf a los archivos de grafos. Es aconsejable, aunque no obligatorio, reservar una única carpeta para guardar los archivos creados así.

Cuando no hay un directorio por defecto, al marcar esta opción aparecerá el *menú transitorio* UNIDADES DE DISCO. En caso contrario aparecerá el *menú transitorio* DIRECTORIO DE. A continuación aparecerá el *menú transitorio* GRABAR CON EL NOMBRE ACTUAL DEL ARCHIVO para que indiquemos si queremos mantener el nombre del grafo como nombre del archivo de grabación o lo queremos cambiar, y en caso de que lo queramos cambiar aparecerá el *menú transitorio* ESCRIBIR NOMBRE DEL ARCHIVO para que pongamos el nuevo nombre.

Cuando un archivo ya se ha guardado, al marcar la opción Guardar del *menú principal* el archivo se volverá a guardar sin más.

La opción GuardarComo sirve para guardar un archivo que ya se ha guardado, pero que ahora queremos guardarlo en otro lugar o con otro nombre. Al marcar esta opción aparecerán *menús transitorios* semejantes a los que han aparecido en la opción Guardar para que guardemos el grafo en otro directorio o con otro nombre.

La opción Eliminar sirve para que un grafo, que ya no nos interesa, desaparezca de nuestra área de trabajo. Al marcarlo aparecerá un *menú confirmación* de la eliminación, y en caso que contestemos Sí y que el grafo no se haya guardado después de su

creación o modificación, aparecerá otro *menú confirmación* para que digamos si queremos o no guardarlo antes de eliminarlo.

La opción Retocar sirve para hacer cambios en un grafo ya construido. Estos cambios pueden ser añadir o borrar nodos o enlaces y modificar diversos elementos. Al marcarlo aparecerá el *menú transitorio* RETOCAR GRAFO.

La opción Consultar sirve para que el programa nos informe de las características y los resultados de diversos algoritmos aplicados a un grafo. Al marcarlo aparecerá el *menú transitorio* CONSULTAR GRAFO.

La opción Salir sirve para abandonar la sesión de trabajo. Al marcarlo aparecerá un *menú confirmación* de la salida. Sí contestamos Sí y alguno de los grafos abiertos no se ha guardado después de su creación o modificación, aparecerá otro *menú confirmación* para que digamos si queremos o no guardarlo antes de salir.

La opción Ayuda es la ayuda general del programa, que aparece en un *mensaje de AutoCAD* en el momento de entrar al programa, y que puede aparecer en cualquier otro momento que sea invocada por nosotros.

Menú transitorio: CREAR GRAFO

Precedente: La opción Crear del *menú principal*

Utilidad: Crear un grafo nuevo.



Encabezado: La palabra CREAR seguida del nombre estándar del grafo que se va a crear.

El programa asigna automáticamente un nombre estándar al grafo que se va a crear. Dicho nombre estándar es de la forma Grafo**, donde ** está ocupado por un número de orden controlado por una variable global. Antes de asignarle un nombre definitivo, el programa comprueba que no existe ningún grafo abierto con el nombre estándar que se va a asignar. En caso de que lo hubiese, el programa asigna el nombre estándar siguiente, ya que no puede haber, en el listado de grafos abiertos, dos con el mismo nombre.

Si queremos que el grafo tenga otro nombre, más adelante lo podemos cambiar.

Opción Dirigido: Podemos utilizar el Sí y el No del cuadrado para establecer que el grafo que se va a crear sea o no dirigido.

Opción Ponderado: Similar a la anterior.

Opción Simple: Similar a las anteriores. Si optamos por el Sí el programa impedirá que se puedan crear bucles.

Opción Multigrafo: Similar a las anteriores. Si optamos por el No el programa impedirá que se puedan crear enlaces múltiples entre dos nodos. Además, si optamos por el Sí, el programa impedirá que el grafo pueda ser ponderado.

Opción Menú principal: Se cierra este menú y se vuelve al menú principal sin que se cree ningún grafo nuevo.

Opción Ayuda: Aparece la ayuda correspondiente a este menú.

Opción Confirmar: Con esta opción se indica que se va a crear un grafo con las características definidas en las opciones anteriores. Entonces aparecerá en el lugar del *menú de grafos* el icono correspondiente al grafo que se va a crear, el cual se convertirá automáticamente en el *grafo activo*. Como hace falta que construyamos los nodos que va a tener el nuevo grafo, automáticamente se cierra este menú y se despliega el *menú transitorio COLOCACIÓN DE NODOS*.

Menú transitorio: COLOCACIÓN DE NODOS

Precedente: La opción Confirmar del *menú transitorio* CREAR GRAFO.

Utilidad: Establecer la manera de colocar los nodos en un grafo nuevo.



Encabezado: COLOCACIÓN DE NODOS.

Opción Manual: Elegir esta opción supone que crearemos los nodos de uno en uno, sin que haga falta que sepamos de antemano cuántos nodos vamos a crear. En el área de trabajo aparecerá un rectángulo de color azul claro que delimita la zona en que podemos crear nodos. Al mismo tiempo aparecerá un *botón finalizar*.

Para crear los nodos basta que pinchemos sucesivamente en los puntos en los que queremos que estén los centros de los nodos. Al crear cada nodo el programa le asigna un nombre estándar. Este nombre está formado por una letra (la misma para todos los nodos de un mismo grafo) y un número de dos cifras, y se sitúa en el interior del círculo correspondiente. Durante la colocación de nodos no se puede borrar un nodo creado por error. Hay que esperar a la creación de todos los nodos y enlaces, y borrarlos con la opción del *menú principal* Retocar.

Cuando hayamos acabado de crear todos los nodos pincharemos en el botón FINALIZAR INTRODUCCIÓN NODOS y se desplegará el *menú transitorio* COLOCACIÓN DE ARISTAS/ARCOS.

Opción Automática: Al tomar esta opción se desplegará el *menú transitorio* CANTIDAD DE NODOS para indicar al programa la cantidad de nodos que pretendemos crear. El máximo admisible de nodos por este procedimiento es 19. Si queremos crear más lo haremos más adelante con la opción del *menú principal* RETOCAR.

Una vez indicada la cantidad de nodos, el programa sitúa los nodos en una circunferencia cuyo centro está en el centro de la zona habilitada para la creación de nodos. Al igual que ocurre con la opción Manual el programa asigna automáticamente un nombre estándar a cada nodo, y una vez colocados los nodos se desplegará el *menú transitorio* COLOCACIÓN DE ARISTAS/ARCOS.

Opción Ayuda: Aparece la ayuda correspondiente a este menú.

Menú transitorio: CANTIDAD DE NODOS

Precedente: La opción Automática del *menú transitorio* COLOCACIÓN DE NODOS.

Utilidad: Establecer de antemano la cantidad de nodos que va a tener un grafo cuyos nodos se van a crear automáticamente.



Encabezado: CANTIDAD NODOS

Opción Dígitos de Decenas y Unidades: En el menú se observa que en las decenas sólo están las opciones 0 y 1, mientras que en las unidades las opciones van del 0 al 9. Por lo tanto podemos elegir la cantidad de nodos que queramos entre 1 y 19. Al pinchar sobre los dígitos deseados observamos que su color cambia a rojo. Los dígitos elegidos pueden cambiarse las veces que queramos antes de salir de este menú.

Opción Menú anterior: Se cierra este menú y se vuelve al *menú transitorio* COLOCACIÓN DE NODOS.

Opción Ayuda: Aparece la ayuda correspondiente a este menú.

Opción Confirmar: Una vez elegidas las decenas y unidades tomamos esta opción para confirmar la cantidad deseada y salir de este menú, con lo que se acaba la colocación automática de nodos.

Menú transitorio: COLOCACIÓN DE ARISTAS/ARCOS

Precedente: Las acciones correspondientes al *menú transitorio* COLOCACIÓN DE NODOS.

Utilidad: Establecer la manera de colocar las aristas o arcos en un grafo nuevo.

COLOCACIÓN DE ARCOS	COLOCACIÓN DE ARISTAS	COLOCACIÓN DE ARISTAS
<input type="checkbox"/> Manual	<input type="checkbox"/> Manual	<input type="checkbox"/> Manual
<input type="checkbox"/> Con_matriz_adyac.	<input type="checkbox"/> Con_matriz_costes	<input type="checkbox"/> Con_matriz_multip.
<input type="checkbox"/> Ayuda	<input type="checkbox"/> Ayuda	<input type="checkbox"/> Ayuda

Encabezado: COLOCACIÓN DE ARISTAS o COLOCACIÓN DE ARCOS, según que el grafo sea no dirigido o dirigido.

Opción Manual: Al elegir esta opción aparecerá un *botón finalizar*. Entonces crearemos cada arista/arco pinchando en el interior de los nodos que sean sus extremos. En el caso de grafos no dirigidos es indiferente el orden que elijamos para marcar los dos nodos, mientras que en el caso de grafos dirigidos hay que marcar primero el extremo inicial y después el final.

Al hacerlo aparecerá automáticamente el enlace entre ambos nodos en forma de segmento rectilíneo que tiene sus extremos en los contornos respectivos de ambos nodos. Cuando haya bucles marcaremos sucesivamente en el mismo nodo dejando un intervalo de tiempo mínimo de un segundo entre ambos clicks con el fin de que el programa tenga tiempo de procesar la información. El bucle creado aparece en forma de un pequeño arco de circunferencia con sus extremos en el contorno del circuitito.

En el caso de grafos dirigidos, también aparecerá en un lugar estándar del segmento la punta de flecha indicativa del sentido del arco. Si, en el caso de grafos dirigidos, hay un arco AB y otro arco BA entre los mismos nodos y en sentidos opuestos, el primero de los que se creen será rectilíneo mientras que el segundo será curvilíneo, con el fin de que ambos arcos aparezcan diferenciados.

En el caso de multigrafos el primer enlace es rectilíneo, pero los siguientes que puedan establecerse entre esos nodos serán curvilíneos.

En el caso de grafos ponderados, después de marcar los dos extremos del enlace, se despliega el *menú transitorio* PESO para escribir el valor de su peso. El valor del peso que hayamos establecido se colocará en el enlace correspondiente orientado en la dirección de dicho enlace y en un lugar estándar decidido por el programa.

Al igual que ocurre con los nodos, si creamos un enlace que no deseábamos no lo podremos borrar hasta que no acabemos de crearlos todos. Entonces podremos borrarlo con la opción del *menú principal* Retocar.

Cuando hayamos acabado de crear todos los enlaces pincharemos sobre el botón FINALIZAR INTRODUCCIÓN ARISTAS/ARCOS, y quedará el grafo dibujado y en disposición de tomar cualquier opción del *menú principal*.

Opción Con matriz adyac.: Esta opción aparece en el caso de grafos (no multigrafos) no ponderados. Al marcarla se despliega el *menú transitorio* MATRIZ ADYACENCIA para que introduzcamos los valores de la matriz de adyacencia del grafo, y al cerrar dicho menú se dibujarán los enlaces del grafo y volveremos al *menú principal*.

Opción Con matriz costes: Esta opción aparece en el caso de grafos ponderados. Al marcarla se despliega el *menú transitorio* MATRIZ COSTES para que introduzcamos los valores de la matriz de costes del grafo, y al cerrar dicho menú se dibujarán los enlaces del grafo con sus pesos correspondientes y volveremos al *menú principal*.

Opción Con matriz multip.: Esta opción aparece en el caso de multigrafos. Al marcarla se despliega el *menú transitorio* MATRIZ MULTIPLICIDADES para que introduzcamos los valores de la matriz de multiplicidades del grafo, y al cerrar dicho menú se dibujarán los enlaces del grafo y volveremos al *menú principal*.

Opción Ayuda: Aparece la ayuda correspondiente a este menú.

Menú transitorio: PESO

Precedente: En el caso de grafos ponderados, las acciones correspondientes al *menú transitorio* COLOCACIÓN DE ARISTAS/ARCOS, o la opción Valor de peso del *menú transitorio* MODIFICAR.

Utilidad: Establecer el valor del peso de una arista/arco de un grafo ponderado.

PESO									
Millares	<input type="text"/>								
Centenas	<input type="text"/>								
Decenas	<input type="text"/>								
Unidades	<input type="text"/>								
Décimas	<input type="text"/>								
Centésimas	<input type="text"/>								
Milésimas	<input type="text"/>								
<input type="checkbox"/>	Ayuda								
<input type="checkbox"/>	Confirmar								

Encabezado: PESO

Opción Dígitos de Millares, Centenas, Decenas, Unidades, Décimas, Centésimas y Milésimas: Pinchando en los cuadritos correspondientes podemos confeccionar el número deseado de un máximo de cuatro cifras enteras y tres decimales. Al pinchar sobre los dígitos deseados observamos que su color cambia a rojo. Los dígitos elegidos pueden cambiarse las veces que queramos antes de salir de este menú.

Opción Ayuda: Aparece la ayuda correspondiente a este menú.

Opción Confirmar: Una vez confeccionado el peso que queremos, tomamos esta opción para confirmar la cantidad deseada y salir de este menú, con lo que se asigna el peso al enlace correspondiente.

Menú transitorio: MATRIZ ADYACENCIA

Precedente: La opción Con matriz adyac. del *menú transitorio* COLOCACIÓN DE ARISTAS/ARCOS, para el caso de un grafo (no multigrafo) no ponderado.

Utilidad: Confeccionar la matriz de adyacencia de un grafo (no multigrafo) no ponderado para, a partir de ella, crear sus aristas/arcos.

	A01	A02	A03	A04	A05	A06	A07
A01	0	0	0	0	0	0	0
A02	0	0	0	0	0	0	0
A03	0	0	0	0	0	0	0
A04	0	0	0	0	0	0	0
A05	0	0	0	0	0	0	0
A06	0	0	0	0	0	0	0
A07	0	0	0	0	0	0	0

Ayuda

Confirmar

Encabezado: MATRIZ ADYACENCIA

Se observa que hay una matriz en la que las filas y las columnas están encabezadas por los nombres de los nodos del grafo que se está creando.

Opción casillas de la matriz: Al marcar sobre una de estas casillas el 0 pasará a convertirse en 1 (de color rojo) para indicar que queremos crear una arista/arco desde el nodo que corresponde a la fila hasta el correspondiente a la columna. Si se marca sobre una casilla a la que se le ha puesto un 1, esta casilla vuelve a tener 0.

En el caso de grafos no dirigidos, al cambiar el valor de una casilla de la matriz, también cambiará con el mismo valor la casilla simétrica respecto a la diagonal principal.

Opción Ayuda: Aparece la ayuda correspondiente a este menú.

Opción Confirmar: Una vez marcadas todas las casillas de la matriz que nos interesan tomamos esta opción para confirmar esos valores con lo cual aparecerán dibujadas todas las aristas/arcos del grafo, saldremos de este menú y estaremos en el *menú principal*.

Menú transitorio: MATRIZ COSTES

Precedente: La opción Con matriz costes del *menú transitorio* COLOCACIÓN DE ARISTAS/ARCOS, para el caso de un grafo ponderado.

Utilidad: Confeccionar la matriz de costes de un multigrafo para, a partir de ella, crear sus aristas/arcos.

MATRIZ_COSTES							
	A01	A02	A03	A04	A05	A06	A07
A01	0	/	/	/	/	/	/
A02	/	0	/	/	/	/	/
A03	/	/	0	/	/	/	/
A04	/	/	/	0	/	/	/
A05	/	/	/	/	0	/	/
A06	/	/	/	/	/	0	/
A07	/	/	/	/	/	/	0

No Ver_peso_completo
 Ayuda
 Confirmar

Encabezado: MATRIZ COSTES

Se observa que hay una matriz en el que las filas y las columnas están encabezadas por los nombres de los nodos del grafo ponderado que se está creando. Inicialmente las casillas de la diagonal principal son 0, y así se mantendrán todo el tiempo, ya que estamos desechando que haya bucles en los grafos ponderados. Las demás casillas están ocupadas por una barra / que hace el papel de ∞ .

Opción casillas de la matriz: Al marcar sobre una de las casillas de la diagonal principal saldrá un *mensaje de AutoCAD* indicándonos que esa casilla no puede cambiarse. Si la casilla no es de la diagonal principal y la opción Ver peso completo está en No, se abrirá el *menú transitorio* PESO para que marquemos el peso que tendrá la casilla correspondiente. Una vez marcado el peso, en la casilla de la matriz de costes se colocará la primera cifra significativa de ese número. Esto se hace para respetar el formato de la matriz sin alterar la anchura de sus columnas. Para tener una idea aproximada de ese valor jugamos con los colores que nos permite Visual LISP.

Si la primera cifra del peso corresponde a los millares, el color del peso y del contorno del cuadrado será negro; si corresponde a las centenas, el color del peso será negro y el contorno rojo; si lo es a las decenas, el color del peso será rojo y el contorno negro; si lo es a las unidades, el color del peso y del contorno será rojo; si lo es a las décimas, centésimas y milésimas el color del peso será negro, rojo y magenta respectivamente. En los tres últimos casos el color del contorno será amarillo si el color del fondo de la pantalla es blanco y azul claro si el color del fondo de la pantalla es negro.

Si pinchamos sobre una casilla que ya contiene un peso, dicha casilla pasará a tener una /.

En el caso de grafos no dirigidos, al cambiar el valor de una casilla de la matriz, también cambiará con el mismo valor la casilla simétrica respecto a la diagonal principal.

Opción Ver peso completo: Como el método de colocación de pesos visto antes no es demasiado ortodoxo, por medio de esta opción podemos saber el valor exacto del peso de una casilla. Para eso cambiamos el No por Sí de esta opción y seguidamente marcamos sobre la casilla de la que queremos saber el peso exacto. Aparecerá un *mensaje de AutoCAD* en el que se nos da ese valor. Después, para volver a introducir pesos en la matriz volvemos a cambiar el Sí por No en esta opción.

Opción Ayuda: Aparece la ayuda correspondiente a este menú.

Opción Confirmar: Una vez marcadas todas las casillas de la matriz que nos interesan tomamos esta opción para confirmar esos valores con lo cual aparecerán dibujadas todas las aristas/arcos del grafo, saldremos de este menú y estaremos en el *menú principal*.

Menú transitorio: MATRIZ MULTIPLICIDADES

Precedente: La opción Con matriz multip. del *menú transitorio* COLOCACIÓN DE ARISTAS/ARCOS, para el caso de un multigrafo.

Utilidad: Confeccionar la matriz de multiplicidades de un multigrafo para, a partir de ella, crear sus aristas/arcos.

	A01	A02	A03	A04	A05	A06	A07
A01	<input type="text"/>						
A02	<input type="text"/>						
A03	<input type="text"/>						
A04	<input type="text"/>						
A05	<input type="text"/>						
A06	<input type="text"/>						
A07	<input type="text"/>						

Sí Aumentar
 Ayuda
 Confirmar

Encabezado: MATRIZ MULTIPLICIDADES

Se observa que hay una matriz en el que las filas y las columnas están encabezadas por los nombres de los nodos del multigrafo que se está creando.

Opción casillas de la matriz: Al marcar sobre una de estas casillas, su valor aumentará en una unidad en caso de que la opción Aumentar esté en Sí, y disminuirá en una unidad en caso de que la opción Aumentar esté en No. El máximo valor admisible de creación de aristas/arcos entre los mismos nodos utilizando este procedimiento es de 9. Si queremos poner más lo hemos de hacer desde la opción Retocar del *menú principal*.

En el caso de multigrafos no dirigidos, al cambiar el valor de una casilla de la matriz, también cambiará con el mismo valor la casilla simétrica respecto a la diagonal principal.

Opción Aumentar: Cuando esta opción se encuentra en Sí, al marcar sobre cualquier casilla de la matriz, su valor aumenta en una unidad, y si se encuentra en No su valor disminuye en una unidad.

Opción Ayuda: Aparece la ayuda correspondiente a este menú.

Opción Confirmar: Una vez marcadas todas las casillas de la matriz que nos interesan tomamos esta opción para confirmar esos valores con lo cual aparecerán dibujadas todas las aristas/arcos del multigrafo, saldremos de este menú y estaremos en el *menú principal*.

Menú transitorio: UNIDADES DE DISCO

Precedente: Las opciones Abrir, Guardar o GuardarComo del *menú principal* cuando no hay un directorio por defecto.

Utilidad: Designar la unidad de disco donde se encuentra el grafo que queremos abrir, o donde queremos guardar el grafo con el que estamos trabajando.



Encabezado: UNIDADES DE DISCO

Opción A: ó C: u otras: En el menú aparecen las unidades de disco presentes en el sistema y capacitadas para guardar archivos. Marcando la unidad de disco correspondiente indicamos que queremos abrir o guardar en esa unidad de disco, con lo cual se abrirá el *menú transitorio* DIRECTORIO DE en el que aparece parte del directorio de ese disco.

Opción Ayuda: Aparece la ayuda correspondiente a este menú.

Opción Menú principal: El menú UNIDADES DE DISCO desaparece y se vuelve al *menú principal* sin que se haya abierto o guardado ningún grafo.

Menú transitorio: DIRECTORIO DE (para la opción Abrir)

Precedente: Las opciones A., C., etc. del *menú transitorio UNIDADES DE DISCO*.

Utilidad: Designar el directorio de la unidad de disco elegida donde se encuentra el grafo que queremos abrir.



Encabezado: DIRECTORIO DE seguido del nombre de la ruta completa del directorio al que se llega desde el directorio anterior.

Opciones de los subdirectorios: Supongamos que en el *menú transitorio UNIDADES DE DISCO* hemos marcado sobre el C: porque el archivo que queremos abrir está en el subdirectorio Documents and Settings de C:. Al marcar sobre C: aparecerá el directorio de C: (figura de la izquierda). En esa figura aparecen los subdirectorios de C: (nos dicen que hay 25). Como todos no caben en la pantalla y no disponemos de ascensor, hemos puesto unos botones etiquetados como SUBE y BAJA para que al pulsarlos repetidamente se vaya desplazando el listado correspondiente hasta que aparezca el nombre deseado. Vemos que en la primera figura no está el subdirectorio Documents and Settings, pero si pulsamos una vez sobre el botón SUBE el listado se desplaza hacia arriba y ya aparece el subdirectorio buscado (figura central). Al pulsar sobre este subdirectorio aparece su menú correspondiente que estará encabezado por DIRECTORIO DE C:\Documents and Settings (figura de la derecha). En ésta no aparecen los botones SUBE y BAJA porque todos sus subdirectorios caben en la pantalla.

Opciones de los archivos de grafos: En el cuadro aparecen los archivos que contienen grafos guardados, es decir aquellos cuyo nombre tiene la extensión .grf (nos dicen que en C: hay 9), y también figuran los botones SUBE y BAJA porque en la pantalla sólo caben 7. Los archivos que no son de grafos no figuran en esa lista. Estos archivos no se pulsan hasta que no llegamos al subdirectorio que contiene el archivo que queremos abrir. En el ejemplo que hemos puesto será el archivo Grafo02, que es el único de



grafos que hay en Documents and Settings. Al pulsar sobre Grafo02 se cierra el menú DIRECTORIO DE y se muestra en pantalla el dibujo de Grafo02.

Opción Nivel anterior: Volvemos al nivel desde el que hemos llegado a ese sub-directorio, es decir, vamos “hacia atrás”. Por ejemplo, si estamos en la figura de la izquierda o del centro aparecerá el *menú transitorio* UNIDADES DE DISCO, y si estamos en la figura de la derecha y pulsamos Nivel anterior iremos a la figura de la izquierda, es decir, al directorio de C:.

Opción Ayuda: Aparece la ayuda correspondiente a este menú.

Menú transitorio: DIRECTORIO DE (para la opción Guardar)

Precedente: Las opciones A:, C:, etc. del *menú transitorio UNIDADES DE DISCO*.

Utilidad: Designar el directorio de la unidad de disco elegida donde queremos guardar un grafo.



Encabezado: DIRECTORIO DE seguido del nombre de la ruta completa del directorio al que se llega desde el directorio anterior.

Observemos que en estos menús aparece el listado de los archivos de grafos, al igual que en el DIRECTORIO DE de la opción Abrir, pero aquí no hay cuadrado al lado de los nombres de los archivos. Aquí, la presencia de los nombres de los archivos tiene puro carácter informativo de los archivos de grafos que hay en ese subdirectorio. Esto es importante, ya que si grabamos en ese subdirectivo un archivo con el mismo nombre que otro ya existente este último será sobrescrito por el nuevo archivo.

Opciones de los subdirectorios: Supongamos que en el *menú transitorio UNIDADES DE DISCO* hemos marcado sobre el C:; porque queremos guardar el archivo en el subdirectorio Documents and Settings de C:. Al marcar sobre C: aparecerá el directorio de C: (figura de la izquierda). En esa figura aparecen los subdirectorios de C: (nos dicen que hay 25). Como todos no caben en la pantalla y no disponemos de ascensor, hemos puesto unos botones etiquetados como SUBE y BAJA para que al pulsarlos repetidamente se vaya desplazando el listado correspondiente hasta que aparezca el nombre deseado. Vemos que en la primera figura no está el subdirectorio Documents and Settings, pero si pulsamos una vez sobre el botón SUBE el listado se desplaza hacia arriba y ya aparece el subdirectorio buscado (figura central). Al pulsar sobre este subdirectorio aparece su menú correspondiente que estará encabezado por DIRECTORIO



DE C:\Documents and Settings (figura de la derecha). En ésta no aparecen los botones SUBE y BAJA porque todos sus subdirectorios caben en la pantalla.

Opción Nivel anterior: Volvemos al nivel desde el que hemos llegado a ese subdirectorio, es decir, vamos “hacia atrás”. Por ejemplo, si estamos en la figura de la izquierda o del centro aparecerá el *menú transitorio* UNIDADES DE DISCO, y si estamos en la figura de la derecha y pulsamos Nivel anterior iremos a la figura de la izquierda, es decir, al directorio de C:.

Opción Ayuda: Aparece la ayuda correspondiente a este menú.

Opción Confirmar actual: Esta opción será marcada cuando, tras el desplazamiento hecho por el árbol de subdirectorios, lleguemos a aquél en el que queremos grabar nuestro archivo. Una vez confirmado el subdirectorio en el que queremos grabar, se cerrará el actual menú y se desplegará el *menú transitorio* NOMBRE DEL ARCHIVO DE GRABACIÓN.

Menú transitorio: NOMBRE DEL ARCHIVO DE GRABACIÓN

Precedente: La opción Confirmar actual del *menú transitorio* DIRECTORIO DE.

Utilidad: Preguntar si se quiere poner al archivo de grabación de un grafo el mismo nombre que tiene en el área de trabajo u otro nombre.



NOMBRE DEL ARCHIVO DE GRABACIÓN

- Actual: _Grafo01
- Otro_nombre
- Menú_principal
- Ayuda

Encabezado: NOMBRE DEL ARCHIVO DE GRABACIÓN.

Opción Actual: nombre actual del grafo: Con esta opción el archivo se grabará con el mismo nombre que tiene el grafo en el área de trabajo. Por lo tanto, después de grabar el archivo se cierra este menú y se pasa al *menú principal*.

Opción Otro nombre: Con esta opción indicamos que queremos grabar el grafo con un nombre diferente al actual. En tal caso el nombre que tiene actualmente el grafo en el área de trabajo también cambiará al nuevo nombre. Al tomar esta opción se cerrará este menú y se desplegará el *menú transitorio* ESCRIBIR NOMBRE DEL ARCHIVO para que formemos el nuevo nombre.

Opción Menú principal: Esta opción será tomada si, después de haber buscado un subdirectorio para grabar un grafo, decidimos en el momento final que no queremos grabar, con lo que pasamos al *menú principal* sin grabar.

Opción Ayuda: Aparece la ayuda correspondiente a este menú.

Menú transitorio: ESCRIBIR NOMBRE DEL

Precedente: Puede haber cuatro: La opción Otro nombre del *menú transitorio* NOMBRE DEL ARCHIVO DE GRABACIÓN, la opción Personalizado del *menú transitorio* NOMBRE DEL NODO, la opción Nombre de nodo del *menú transitorio* MODIFICAR y la opción Nombre de grafo del *menú transitorio* MODIFICAR.

Utilidad: Formar un nombre para asignarlo a un archivo de grabación, o a un nodo, o a un grafo cuyo nombre se quiere cambiar.



Encabezado: ESCRIBIR NOMBRE DEL seguido de la palabra ARCHIVO, o NODO o GRAFO, según el caso considerado.

Opción casillas de caracteres: El carácter marcado se colocará en la casilla alargada como último carácter de la palabra que se está formando.

Opción Mayúscula: Según que esta opción esté en Sí o en No, la letra que se escribirá a continuación será mayúscula o minúscula.

Opción Borrar: Con esta opción se borra la última letra escrita.

Opción Menú anterior: En el caso de que se esté modificando el nombre de un nodo o de un grafo, con esta opción se cancela el cambio y se vuelve al *menú transitorio* MODIFICAR o al NOMBRE DEL NODO.

Opción Ayuda: Aparece la ayuda correspondiente a este menú.

Opción Confirmar: Se finaliza la confección del nombre, se cierra este menú y se asigna el nombre formado al archivo, nodo o grafo que corresponda.

Menú transitorio: RETOCAR

Precedente: La opción Retocar del *menú principal*.

Utilidad: Añadir, borrar o modificar elementos en un grafo ya construido.



Encabezado: RETOCAR seguido del nombre del grafo.

Opción Añadir: Con esta opción se despliega el *menú transitorio* AÑADIR que sirve para añadir nuevos nodos o enlaces.

Opción Borrar: Con esta opción se despliega el *menú transitorio* BORRAR que sirve para borrar nodos o enlaces del grafo.

Opción Modificar: Al tomar esta opción se despliega el *menú transitorio* MODIFICAR que sirve para modificar nombres, posiciones y valores de los diversos elementos del grafo.

Opción Menú principal: Con esta opción se vuelve al *menú principal* sin retocar nada.

Opción Ayuda: Aparece la ayuda correspondiente a este menú.

Menú transitorio: AÑADIR

Precedente: La opción Añadir del *menú transitorio* RETOCAR.

Utilidad: Añadir nodos o enlaces a un grafo ya construido.



Encabezado: AÑADIR

Opción Añadir nodo: Con esta opción se nos pide que marquemos el punto donde estará el centro del nuevo nodo y a continuación se nos pide por medio del *menú transitorio* NOMBRE DEL NODO que introduzcamos la manera de crear el nombre del nodo.

Opción Añadir arista/arco: Con esta opción se nos pide que marquemos el extremo inicial y el extremo final del enlace que pretendemos añadir.

Al marcarlo aparecerá automáticamente un segmento rectilíneo entre ambos nodos si éstos son distintos, o un bucle si los nodos son iguales.

En el caso de un grafo dirigido en el que ya existe un arco entre los dos nodos y se quiere dibujar un arco en sentido contrario, éste será curvilíneo.

En el caso de un multigrafo en el que ya hay dibujado algún enlace entre ambos nodos, se pedirá que marquemos un punto por donde pasará el enlace curvilíneo que se va a crear. Todas las peticiones se hacen con *mensajes guía* o con *mensajes de AutoCAD*.

Opción Menú anterior: Al tomar esta opción se vuelve al *menú transitorio* RETOCAR sin añadir nada.

Opción Ayuda: Aparece la ayuda correspondiente a este menú.

Menú transitorio: NOMBRE DEL NODO

Precedente: La opción Añadir nodo del *menú transitorio* AÑADIR.

Utilidad: Decidir si queremos asignar al nuevo nodo un nombre estándar o un nombre personalizado.



Encabezado: NOMBRE DEL NODO

Observemos que en este menú no hay ninguna opción de marcha atrás, y el nombre se ha de poner por uno u otro procedimiento obligatoriamente. Esto es así porque antes de llegar a este menú ya se habrá dibujado el circulito del nodo y sólo queda poner el nombre.

Opción Estándar: Con esta opción se asigna al nuevo nodo un nombre creado por el programa, utilizando el mismo procedimiento que el que se llevaba a cabo en el momento de la creación del grafo, es decir, un nombre formado por la letra que llevan todos los nombres estándar de los nodos del grafo y un número de dos cifras. Este nombre se situará en el interior del círculo representativo del nodo, y una vez hecho esto se retornará al *menú principal*.

Opción Personalizado: Con esta opción nosotros pondremos al nuevo nodo el nombre que queramos. A tal efecto se desplegará el *menú transitorio* ESCRIBIR NOMBRE DEL, y aquí pondremos el nombre personalizado del nodo.

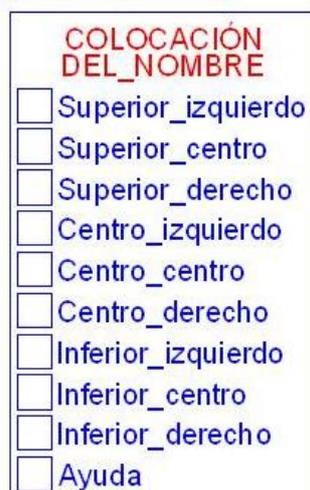
Si el nombre tiene un máximo de tres caracteres se colocará automáticamente en el interior del círculo representativo del nodo. Si tiene más de tres caracteres entonces hay que ponerlo fuera del nodo. Para tal fin se nos pedirá que marquemos un punto P donde se situará el nombre. Una vez marcado el punto se desplegará el *menú transitorio* COLOCACIÓN DEL NOMBRE para que indiquemos qué punto de ese nombre ha de coincidir con el punto P que acabamos de marcar en el área de dibujo, y hecho esto se volverá al *menú principal*.

Opción Ayuda: Aparece la ayuda correspondiente a este menú.

Menú transitorio: COLOCACIÓN DEL NOMBRE

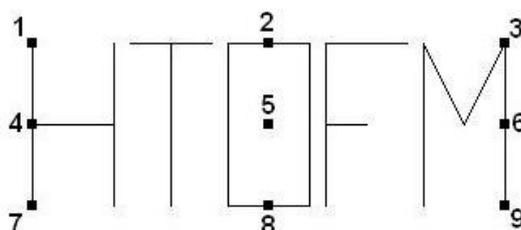
Precedente: La opción Confirmar del *menú transitorio* ESCRIBIR NOMBRE DEL (caso de nombre de nodo), suponiendo que dicho nombre tenga más de tres caracteres. También la opción Posición de nombre del *menú transitorio* MODIFICAR.

Utilidad: Decidir qué punto del nombre ha de coincidir con el punto que se ha marcado en el lienzo.



Encabezado: COLOCACIÓN DEL NOMBRE

Opciones de colocación: Las opciones que aparecen reflejadas en el menú se refieren al punto del nombre que se va a colocar coincidiendo aproximadamente con el punto que se ha marcado sobre el área de dibujo. Por ejemplo, si el nombre es HTOFM, entonces los puntos son los que aparecen en la figura:



En esta figura el superior izquierdo es el 1, el superior centro el 2, el superior derecho el 3, el centro izquierdo el 4, el centro centro el 5, el centro derecho el 6, el inferior izquierdo el 7, el inferior centro el 8 y el inferior derecho el 9.

Al pulsar sobre la opción deseada, el punto del nombre elegido se colocará sobre el punto de la pantalla que hayamos marcado previamente.

Opción Ayuda: Aparece la ayuda correspondiente a este menú.

Menú transitorio: BORRAR

Precedente: La opción Borrar del *menú transitorio* RETOCAR.

Utilidad: Borrar nodos o enlaces de un grafo ya construido.



Encabezado: BORRAR

Opción Borrar nodo: Al tomar esta opción se nos dirá que pinchemos en el interior del nodo que queremos borrar y seguidamente aparecerá un *menú confirmación* para preguntarnos si realmente queremos borrar ese nodo y todos los enlaces incidentes en él. Si se contesta afirmativamente, ese nodo y sus enlaces serán borrados. Tanto si se contesta Sí como si se contesta No, se vuelve al *menú principal*.

Opción Borrar arista/arco: Al tomar esta opción se nos dirá que pinchemos en el interior de los dos nodos que son extremos del enlace. Si se trata de un multigrafo y entre ambos nodos hay varios enlaces, se nos dirá que pinchemos sobre el enlace que queremos borrar. Al igual que en el caso del borrado de nodos se nos pedirá confirmación del borrado.

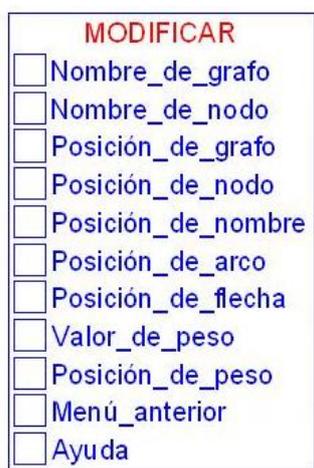
Opción Menú anterior: Al tomar esta opción se vuelve al *menú transitorio* RETOCAR sin borrar nada.

Opción Ayuda: Aparece la ayuda correspondiente a este menú.

Menú transitorio: MODIFICAR

Precedente: La opción Modificar del *menú transitorio* RETOCAR.

Utilidad: Modificar algunos elementos de un grafo ya construido: Nombre del grafo, nombre de un nodo, posición del grafo en la pantalla, posición de un nodo, posición del nombre de un nodo, posición de un enlace, posición de una punta de flecha, valor del peso de un enlace, posición de un peso.



Encabezado: MODIFICAR

En la figura se han puesto todas las opciones que pueden aparecer, pero en ciertos casos algunas serán omitidas. Por ejemplo, Posición de flecha sólo saldrá en los grafos dirigidos, y Valor de peso y Posición de peso sólo saldrá en los grafos ponderados.

Opción Nombre de grafo: Con esta opción podemos cambiar el nombre del grafo. Al pulsar sobre ella se abrirá el *menú transitorio* ESCRIBIR NOMBRE DEL para el caso de grafo.

Opción Nombre de nodo: Con esta opción podemos cambiar el nombre de un nodo. Al pulsar sobre ella nos pedirán que pinchemos en el interior del nodo y a continuación se abrirá el *menú transitorio* ESCRIBIR NOMBRE DEL para el caso de nodo. Se siguen los mismos pasos que aparecen en la opción Personalizado del *menú transitorio* NOMBRE DEL NODO.

Opción Posición de grafo: Con esta opción podemos cambiar en bloque la posición del grafo en pantalla. Teniendo en cuenta que dentro del programa no podemos arrastrar figuras con el ratón, hay que hacerlo con dos clicks. Pinchamos en el interior de un nodo que será nuestra referencia y seguidamente pinchamos en el punto en el que queremos que se sitúe el centro de ese nodo en la nueva posición del grafo. De esa forma el grafo se trasladará en bloque a la nueva posición.

Opción Posición de nodo: Con esta opción podemos cambiar la posición de un nodo del grafo. Para eso pinchamos en el interior del nodo que ha de cambiar y seguidamente pinchamos en el punto en el que queremos que esté el nuevo centro del nodo. El nodo se trasladará a ese punto, y los enlaces que tiene con otros nodos también cambiarán para seguir estando unidos a ese nodo en su nueva posición.

Opción Posición de nombre: Con esta opción podemos cambiar la posición del nombre de un nodo. Para eso, después de pinchar en el interior del nodo se nos pedirá el punto al que se ha de trasladar el nombre, y seguidamente aparecerá el *menú transitorio* COLOCACIÓN DE NOMBRE para que decidamos el punto del nombre que se pondrá allí.

Opción Posición de arista/arco: Con esta opción podemos cambiar la posición de un enlace entre dos nodos. Después de pinchar en el interior de los dos nodos marcaremos un punto por donde pasará el nuevo enlace. Si se trata de un multigrafo y hay varios enlaces entre esos dos nodos, tendremos que marcar previamente sobre el enlace que queremos cambiar de posición.

Opción Posición de flecha: Con esta opción podemos cambiar la posición de la punta de flecha de un enlace entre dos nodos de un grafo dirigido. A tal fin pincharemos sobre los dos extremos del enlace, y sobre el mismo enlace si es un multigrafo y hay más de un enlace entre esos nodos, y a continuación sobre el punto del enlace donde queremos que cambie la punta de la flecha.

Opción Valor de peso: Con esta opción podemos cambiar el valor del peso de un enlace entre dos nodos de un grafo ponderado. Pincharemos en el interior de los dos extremos del enlace con lo cual se abrirá el *menú transitorio* PESO para que pongamos el valor del nuevo peso. El nuevo peso se colocará en el mismo punto del enlace en que estaba el anterior peso.

Opción Posición de peso: Con esta opción podemos cambiar la posición del peso de un enlace entre dos nodos de un grafo ponderado. A tal fin pincharemos sobre los dos extremos del enlace, y a continuación sobre el punto del enlace donde queremos que cambie el peso.

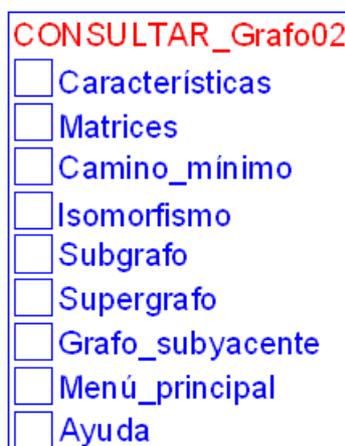
Opción Menú anterior: Al tomar esta opción se vuelve al *menú transitorio* RETOCAR sin modificar nada.

Opción Ayuda: Aparece la ayuda correspondiente a este menú.

Menú transitorio: CONSULTAR

Precedente: La opción Consultar del *menú principal*.

Utilidad: Consultar algunas de las características del grafo y de sus elementos, así como aplicar diversos algoritmos a nuestro grafo y hallar algunas relaciones con otros grafos.



Encabezado: CONSULTAR seguido del nombre del grafo.

Opción Características: Al tomar esta opción se despliega el *menú transitorio* CARACTERÍSTICAS donde podemos consultar las características más usuales del grafo.

Opción Matrices: Con esta opción se abre el *menú transitorio* MATRICES, donde se pueden consultar las matrices características del grafo.

Opción Camino Mínimo: Al tomar esta opción se nos dice que marquemos los dos nodos entre los que se quiere hallar el camino de mínima longitud. Una vez marcados los nodos, el programa hace el cálculo aplicando el algoritmo de Dijkstra y nos presenta el camino de longitud mínima y el valor de esta longitud. Al mismo tiempo dicho camino aparece en la figura marcado en rojo.

Opción Isomorfismo: Esta opción sirve para saber si el *grafo activo* es isomorfo a algún otro de los que se hallan abiertos en nuestra sesión. Para aplicarlo, después de marcar la opción se nos pedirá que marquemos el icono del *grafo no activo* del que queremos saber si es isomorfo al *grafo activo*. El programa comprobará primero algunos de los hechos que pueden dar lugar a una respuesta negativa: cantidad de nodos o de enlaces desiguales, grados de los nodos desiguales, etc, y en caso de que en todos ellos la respuesta sea positiva buscará una aplicación biyectiva entre los conjuntos de nodos de ambos grafos que conserve los enlaces, y si la encuentra mostrará dicha correspondencia. Dependiendo de la cantidad de nodos del grafo y de las prestaciones de nuestro ordenador, este problema puede o no ser resoluble en un tiempo aceptable.

Opción Subgrafo: Esta opción sirve para saber si el *grafo activo* es subgrafo de algún otro grafo que esté abierto en nuestra sesión. Después de marcar la opción se nos pedirá que marquemos el icono del *grafo no activo* del que queremos saber si el *grafo activo* es subgrafo, y al hacerlo tendremos la respuesta en un *mensaje de AutoCAD*.

Opción Supergrafo: Esta opción sirve para saber si el *grafo activo* es supergrafo de algún otro grafo que esté abierto en nuestra sesión. Después de marcar la opción se nos pedirá que marquemos el icono del *grafo no activo* del que queremos saber si el *grafo activo* es supergrafo, y al hacerlo tendremos la respuesta en un *mensaje de AutoCAD*.

Opción Grafo subyacente: Esta opción sirve para construir el grafo subyacente de un grafo dirigido dado. Naturalmente esta opción no aparece cuando se está trabajando con un grafo no dirigido. Al marcar la opción se forma el grafo subyacente, cuyo icono se incorpora al *menú de grafos*. Hay que tener en cuenta que el dibujo del grafo subyacente estará superpuesto al del grafo original. Por lo tanto para diferenciar los dibujos deberemos desplazar uno de ellos utilizando la opción Posición de grafo del *menú transitorio MODIFICAR*.

Opción Menú principal: Con esta opción se vuelve al *menú principal*.

Opción Ayuda: Aparece la ayuda correspondiente a este menú.

Menú transitorio: CARACTERÍSTICAS

Precedente: La opción Características del *menú transitorio* CONSULTAR.

Utilidad: Consultar algunas de las características del grafo y de sus elementos.



Encabezado: CARACTERÍSTICAS seguido del nombre del grafo.

Opción Generales: Con esta opción aparece un *mensaje de AutoCAD* con la información de las características más frecuentes del grafo: Nombre del grafo, ruta del archivo donde se guarda (si ya se ha guardado), si es o no dirigido, si es o no ponderado, si es o no simple, si es o no multigrafo (y en caso afirmativo, al ser s-grafo, el valor de s), si es o no conexo en caso de que sea no dirigido, y fuerte o débilmente conexo si es dirigido, si es o no regular, si es o no completo, si es o no bipartido (y en caso afirmativo obtiene una partición del conjunto de nodos, y si es o no bipartido completo), si es o no acíclico, si es o no árbol (en caso de que sea no dirigido), si es o no arborescencia (en caso de que sea dirigido), si es o no euleriano y si tiene o no cadena euleriana, y si es o no hamiltoniano y si tiene o no camino hamiltoniano (aunque la aparición de las características hamiltonianas está condicionada por la cantidad de nodos y enlaces del grafo y por las prestaciones de nuestro ordenador).

Opción Grados: Esta opción permite, pinchando en el nodo correspondiente, mostrar en un *mensaje de AutoCAD* el grado de ese nodo (si el grafo es no dirigido) o los grados de entrada y salida (si el grafo es dirigido).

Opción Conexión: Con esta opción aparece un *mensaje de AutoCAD* en el que, en caso de que el grafo sea no dirigido, nos dice si es conexo, las componentes conexas, las aristas de corte y los vértices de corte. En caso de que el grafo sea dirigido, nos dice si es fuerte y débilmente conexo y las componentes fuerte y débilmente conexas.

Opción Euleriano: Con esta opción el programa, mediante el algoritmo de Fleury, averigua si hay o no ciclo euleriano, y en caso de que lo haya nos pide el nodo donde queremos que empiece y acabe el ciclo, y una vez se lo hemos dado muestra en un *mensaje de AutoCAD* la sucesión de nodos del ciclo. En caso de que no haya ciclo euleriano, el programa averigua si existe cadena euleriana, y si la hay la muestra.

Opción Hamiltoniano: Con esta opción el programa investiga la existencia de un ciclo hamiltoniano, y, si el grafo es ponderado, un ciclo hamiltoniano de coste mínimo.

Dado que no existe un algoritmo que averigüe si un grafo es hamiltoniano, y hay que hacerlo buscando un ciclo, es posible que no pueda resolverse el problema si el grafo tiene muchos nodos y enlaces y nuestro ordenador no tiene una gran capacidad de cálculo. Si encuentra el ciclo, pregunta en qué nodo queremos que empiece, y muestra en un *mensaje de AutoCAD* la sucesión de nodos del ciclo y, si el grafo es ponderado, el coste total del mismo. Además marca en rojo en el grafo dicho ciclo.

Opción Camino hamiltoniano: Con esta opción ocurre algo semejante a lo que hemos dicho para el ciclo hamiltoniano, es decir busca un camino hamiltoniano y si lo encuentra lo muestra en un *mensaje de AutoCAD* y lo marca en rojo.

Opción Pesos: En el caso de grafos ponderados, esta opción permite mostrar el peso existente en un enlace entre dos nodos. Aunque teóricamente esto es muy fácil de ver en la figura, sin embargo hay veces en que los numeritos aparecen un poquito distorsionados y conviene tomar esta opción si tenemos dudas de su valor exacto. Con esta opción, después de marcar en el interior de los dos extremos del enlace, aparece un *mensaje de AutoCAD* en el que muestra ese peso.

Opción Menú anterior: Al tomar esta opción se vuelve al *menú transitorio CONSULTAR*.

Opción Ayuda: Aparece la ayuda correspondiente a este menú.

Menú transitorio: CONSULTAR MATRICES

Precedente: La opción Matrices del *menú transitorio* CONSULTAR.

Utilidad: Consultar las matrices características del grafo, es decir, adyacencia (si el grafo es no ponderado y no multigrafo), costes (si el grafo es ponderado), multiplicidades (si es multigrafo) y, en cualquier caso la matriz de acceso.



Encabezado: CONSULTAR MATRICES seguido del nombre del grafo.

Opción Adyacencia/Costes/Multiplicidades: Sirve para consultar la matriz correspondiente según el tipo de grafo: Adyacencia si es no ponderado y no multigrafo, Costes si es ponderado y Multiplicidades si es multigrafo.

El formato de la matriz que se presenta tiene todas las columnas de la misma anchura. En los encabezados de fila y columna están los nombres de los nodos correspondientes. Para colocarlos ahí sin distorsionar el aspecto de la matriz esos nombres han de tener como máximo tres caracteres. Si algún nodo tiene un nombre con más de tres caracteres se coloca en el encabezado de fila y columna un nombre ficticio de tres caracteres y debajo de la matriz se escribe la equivalencia de nomenclatura con el nombre auténtico.

Opción Acceso: Sirve para consultar la matriz de acceso.

Opción Menú anterior: Al tomar esta opción se vuelve al *menú transitorio* CONSULTAR.

Opción Ayuda: Aparece la ayuda correspondiente a este menú.

Menú transitorio: NOMBRE DEL GRAFO

Precedente: Las opciones del *menú de grafos*.

Utilidad: Enseñar el nombre completo del grafo (ya que si el nombre es más largo que la capacidad del icono, allí aparece sólo el principio y puntos suspensivos), ocultar a la vista el grafo o mostrarlo en caso de que esté oculto y dar un grafo el carácter de *grafo activo*.



Encabezado: NOMBRE DEL GRAFO seguido del nombre del grafo.

El *menú de grafos* estará operativo siempre que lo esté el *menú principal*. Podemos pinchar sobre cualquier icono de grafos del que nos interese realizar alguna de las acciones mostradas en este menú. Al marcar sobre uno de esos iconos se desplegará este menú.

Opción Mostrar/Ocultar: Con esta opción el grafo se oculta si estaba en pantalla, y se muestra si estaba oculto. Esto es útil en caso de que nos interese que desaparezca momentáneamente un grafo para poder trabajar con más claridad con los demás, y también cuando hay varios grafos y no recordamos a qué grafo corresponde un determinado dibujo. Si lo ocultamos y lo volvemos a mostrar enseguida lo tendremos localizado. Después de esta opción se cierra el menú y se vuelve al *menú principal*.

Opción Activar: Si el menú corresponde al *grafo activo* esta opción no hace nada, puesto que no se puede activar un grafo que ya está activo. En caso contrario convertirá dicho grafo en *grafo activo*. Después de esta opción se cierra el menú y se vuelve al *menú principal*.

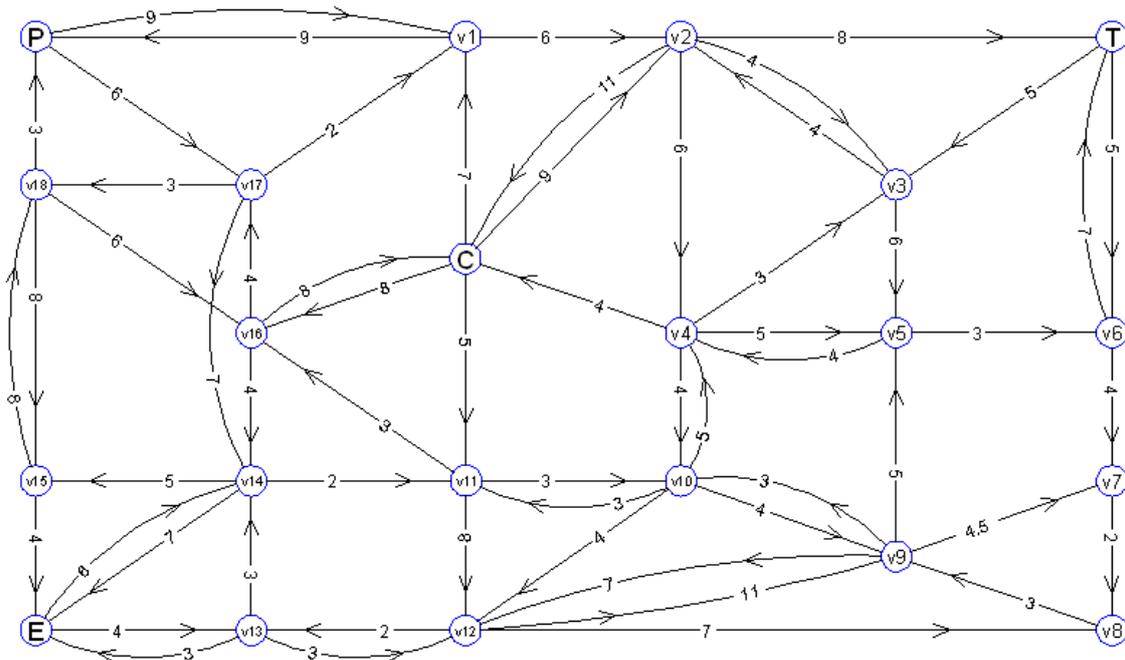
Opción Cerrar menú: Se cierra el menú y se vuelve al *menú principal* sin hacer ninguna otra acción.

Opción Ayuda: Aparece la ayuda correspondiente a este menú.

8. Problemas de aplicación

Problema 1

Un señor realiza diariamente el siguiente recorrido en coche: Sale de su casa, sita en el punto C para llevar a sus hijos a la escuela (E) y desde allí acude a su lugar de trabajo (T). A la hora de comer va a casa de sus padres (P) y después vuelve al trabajo (T). Al acabar la jornada laboral vuelve a recoger a los niños a la escuela (E) y finalmente regresa a su casa (C). En el gráfico aparecen las calles o trozos de carretera que pueden ser utilizados en sus desplazamientos, teniendo presente que algunos trayectos pueden recorrerse en un solo sentido, y otros en ambos. También aparecen los tiempos, por término medio, en minutos que se tarda en recorrer cada uno de los tramos en función de la distancia, densidad de tráfico, limitaciones obligatorias de velocidad, duración de los semáforos, etc. Se pregunta cuáles serán los recorridos idóneos a fin de minimizar los tiempos empleados.



Solución:

Podemos hacer el dibujo anterior para hacer prácticas, pero si no queremos hacerlo podemos abrir el grafo, que está archivado en el [Ejemplo1](#) de los [Anexos](#).

Una vez dibujado el grafo marcamos

Menú principal >> Consultar >> Camino mínimo

y a continuación marcamos en los nodos **C** y **E** con lo que obtenemos el camino de tiempo mínimo para ir de **C** a **E**: **C** , **v11** , **v10** , **v12** , **v13** , **E** , con un tiempo total de 17 minutos.

Análogamente haremos con el resto de itinerarios:

E a T: **E** , **v14** , **v11** , **v10** , **v9** , **v5** , **v6** , **T** Tiempo=30 min

T a P: **T** , **v6** , **v7** , **v8** , **v9** , **v10** , **v11** , **v16** , **v17** , **v18** , **P** Tiempo=33 min

P a T: **P** , **v17** , **v1** , **v2** , **T** Tiempo=22 min

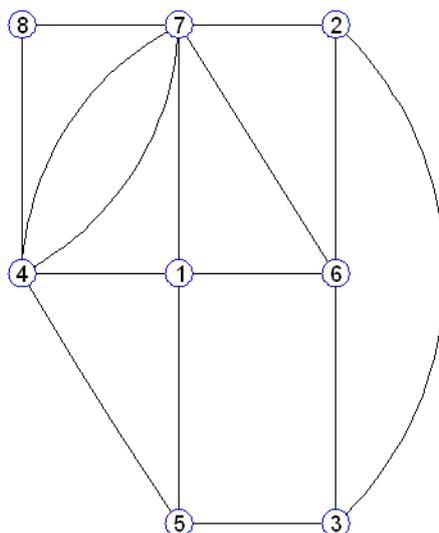
T a E: **T** , **v6** , **v7** , **v8** , **v9** , **v12** , **v13** , **E** Tiempo=26 min

E a C: **E** , **v14** , **v11** , **v16** , **C** Tiempo=19 min



Problema 2

Las calles de cierto barrio de Valencia se disponen en la forma que especifica el dibujo.



En este barrio se planta una falla cuyo casal está en el punto 1. El domicilio de la fallera mayor está en la calle limitada por los puntos 2 y 3, y el de la fallera mayor infantil está en la calle limitada por los puntos 4 y 5. Se ha decidido que la banda de música de la falla haga un pasacalle que, saliendo del casal y regresando a él, pase una sola vez por todas las calles del barrio, exceptuando las calles de las falleras mayores por donde se quiere que pasen más de una vez. Se pregunta si esto es posible, y en caso afirmativo especificar uno de los posibles recorridos.

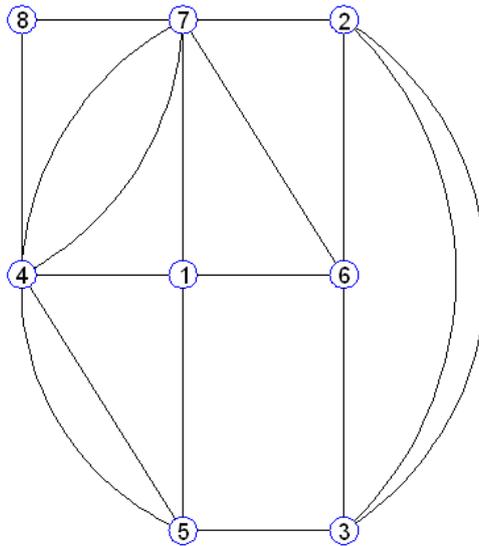
Solución:

Para resolver el problema establecemos un grafo similar al plano de las calles dado (también lo podemos copiar del [Ejemplo 2-1](#) de los [Anexos](#)) y lo convertimos en multigrafo añadiendo dos aristas que dupliquen las calles de las dos falleras mayores, ya que esas calles se han de recorrer dos veces.

Conviene tener en cuenta un detalle que en un principio puede desconcertarnos. Cuando añadamos una segunda arista que conecta los puntos 2 y 3 el programa colocará por defecto un segmento rectilíneo entre ambos puntos, por lo que en el dibujo no estará excesivamente visible. Para que lo esté marcamos

Menú principal>Retocar>Posición de arista

y ante la sugerencia del *mensaje guía* marcamos un punto exterior a ese segmento y de ese modo tendremos la arista duplicada en formato curvo. También podemos copiar el dibujo del [Ejemplo 2-2](#) de los [Anexos](#).

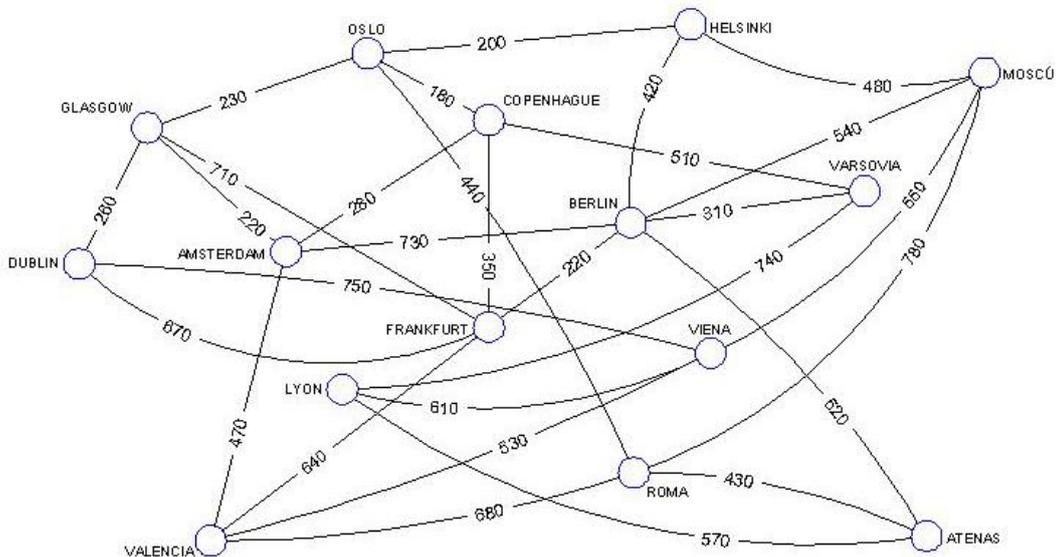


Ahora marcamos **Menú principal >> Consultar >> Características >> Euleriano**

y tenemos la contestación, en la que nos dice que el grafo es euleriano y que un posible recorrido es: 1, 7, 8, 4, 1, 6, 2, 3, 5, 4, 7, 6, 3, 2, 7, 4, 5, 1

Problema 3

Una empresa valenciana de exportación de cítricos tiene delegaciones en varias ciudades europeas. Un ejecutivo de esta empresa tiene la intención de visitar estas delegaciones con el fin de inspeccionar su buen funcionamiento. Para ello, partiendo de Valencia se trasladará en avión a una de ellas y de ésta a otra y así sucesivamente hasta pasar por todas, regresando finalmente a Valencia. Desea hacer este recorrido tomando vuelos directos desde cada ciudad hasta la siguiente con el fin de evitar pérdidas de tiempo con las molestas conexiones de los aeropuertos. La situación de las ciudades y la de las líneas aéreas existentes entre ciudades se especifica en el grafo siguiente, así como los precios en euros de los vuelos. Se pregunta si podrá efectuar el recorrido sin trasbordos, y en caso afirmativo hallar el itinerario más económico posible.



Solución:

Podemos construir el grafo o abrirlo desde el [Ejemplo3](#) de los [Anexos](#).

Para resolver el problema, una vez construido el grafo marcamos

Menú principal >> Consultar >> Características >> Hamiltoniano

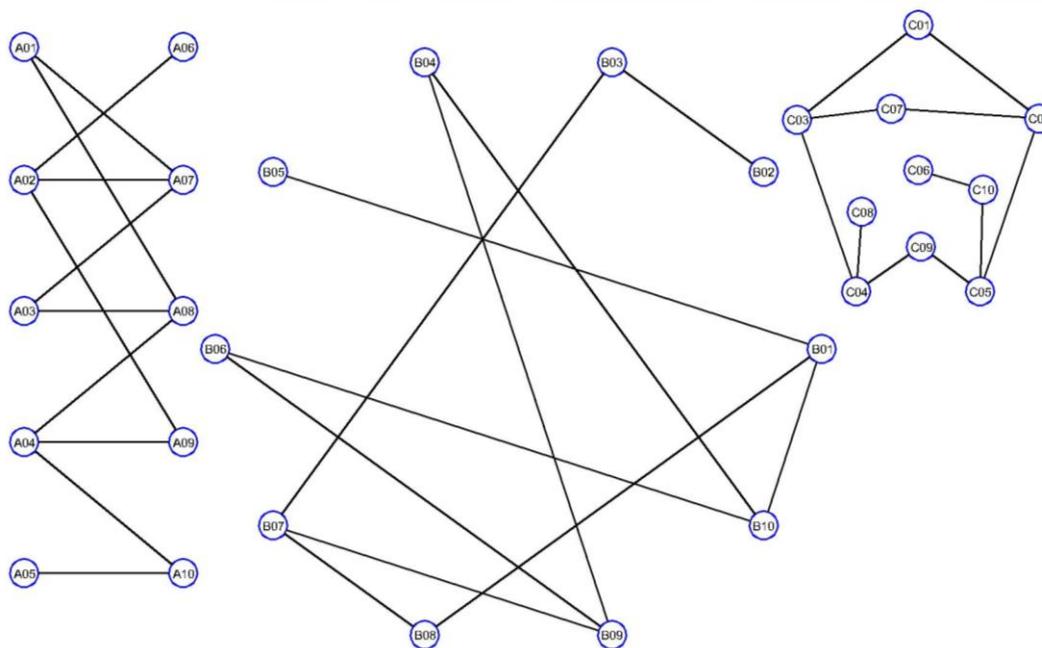
y tenemos la contestación, en la que nos dice que el grafo es hamiltoniano y que marquemos el punto de inicio del recorrido. Marcando Valencia tenemos que el recorrido de coste mínimo es:

Valencia , Roma , Atenas , Lyon , Varsovia , Berlín , Frankfurt , Dublin , Glasgow , Amsterdam , Copenhague , Oslo , Helsinki , Moscú , Viena , Valencia ,

y el coste total del recorrido es 6320 euros.

Problema 4

Un profesor propone a sus alumnos en la asignatura de GRAFOS un ejercicio consistente en que dibujen un grafo no dirigido, conexo, bipartido, con cuatro nodos de grado 3, cuatro nodos de grado 2 y dos nodos de grado 1, y tal que el grafo tenga tres aristas de corte. Las respuestas de tres alumnos han sido las siguientes:



Se pide averiguar si estas tres respuestas son esencialmente la misma, aunque en apariencia sean diferentes.

Solución:

Al igual que en los problemas anteriores podemos dibujar los grafos o cargarlos desde los Anexos: Ejemplo 4-1, Ejemplo 4-2 y Ejemplo 4-3.

Para resolver el problema, una vez construidos los tres grafos marcamos

Menú principal >> Consultar >> Isomorfismo

y a continuación marcamos sobre el icono de un grafo diferente del grafo activo. De esta manera nos contestará que el grafo marcado y el grafo activo sí que son isomorfos, e incluso nos dice una posible correspondencia entre los nodos de ambos grafos.

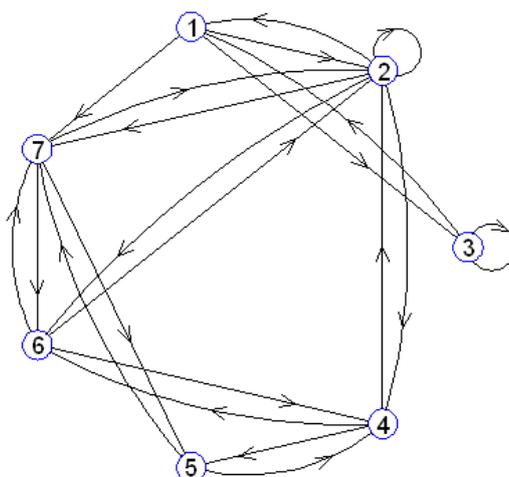
Seguidamente haremos el mismo proceso con el otro grafo no activo, y obtenemos también una respuesta afirmativa.

Problema 5

Un bailarín de claqué pretende componer una coreografía utilizando siete de los pasos de su repertorio (Step, Tap, Heel, Flap, Ball change, Shuffle y Hop). Por abreviar la nomenclatura los designaremos con un número del 1 al 7. Después de hacer un paso la posición en que queda el cuerpo aconseja que el siguiente no sea un paso cualquiera sino que sea uno de los que aparecen a continuación: Tras el 1 se puede hacer el 2, el 3 ó el 7. Análogamente después del 2 el 1,2,4,6 ó 7; a continuación del 3 el 1 ó el 3; al 4 pueden seguir el 2,5 ó 6; después del 5 el 4 ó el 7; el 2, 4 ó 7 pueden ir detrás del 6; y finalmente después del 7 el 2,5 ó 6. Se pide dibujar un grafo que represente esa situación. Suponiendo que desee que en la coreografía aparezcan una vez el paso 1 y el 7, dos veces los pasos 2,3,5 y 6, y tres veces el paso 4, se pregunta si se puede montar una coreografía con tales requisitos y en caso afirmativo cuál será.

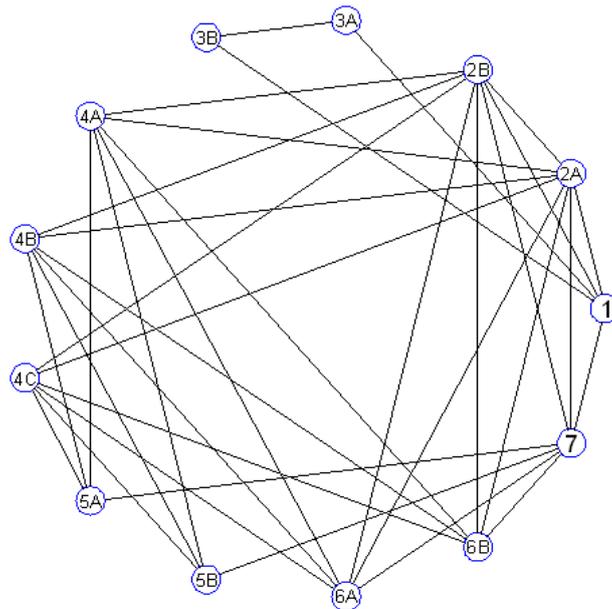
Solución:

Los requerimientos del enunciado nos hacen pensar que el grafo adecuado podría ser éste, el cual aparece en el [Ejemplo 5-1](#) de los [Anexos](#).



Para resolver la otra pregunta construiremos otro grafo en el que duplicaremos o triplicaremos los nodos que corresponden a los pasos que se han de hacer dos o tres veces. De la observación del grafo anterior se desprende que ese grafo podría ser no dirigido, excepto por el arco 1-7, ya que en el grafo inicial la mayoría de los enlaces entre nodos son de ida y vuelta. Vamos a suponer que ese único arco también tiene el arco de retorno y vamos a ver lo que ocurre.

Construimos el siguiente grafo o lo abrimos desde el [Ejemplo 5-2](#) de los [Anexos](#).



Ahora tendremos que ver si existe algún camino que pase por todos los nodos una sola vez. Como no se nos ha dicho que la coreografía ha de empezar y acabar con el mismo paso no hace falta buscar un ciclo, sino que es suficiente con encontrar un camino hamiltoniano. Hay que tener en cuenta que la arista 1-7 no es en realidad arista, sino que es arco con inicio en 1 y final en 7, pero a efectos de lo que nos interesa aquí da lo mismo, ya que puede ocurrir que el camino, caso de existir, no utilice esa arista, luego nos serviría. También puede ocurrir que el camino encontrado contenga al arco 1-7, en cuyo caso la solución también sería válida. Finalmente el caso peor es aquel en que el camino que encontremos contenga la arista 1-7 pero recorrida en sentido inverso, es decir, utilizando el arco que se ha añadido artificialmente. En este caso podemos tomar el camino inverso, que también es hamiltoniano y recorre la arista en el sentido 1-7, es decir, utiliza el arco 1-7.

Procedemos a marcar:

Menú principal >> Consultar >> Características >> Hamiltoniano

y después de una espera un poquito más larga de lo habitual, pues este grafo tiene mayor complejidad, obtenemos la respuesta de que sí que hay camino hamiltoniano que es: 2A, 2B, 6B, 4A, 6A, 4B, 5B, 4C, 5A, 7, 1, 3A, 3B.

Como en esta relación aparecen consecutivos el 7 y el 1 en un sentido distinto al real tomaremos el camino inverso: 3, 3, 1, 7, 5, 4, 5, 4, 6, 4, 6, 2, 2.

9. Bibliografía

- CEBOLLA CEBOLLA, Castell. *AutoCAD 2013-Curso práctico*. Ra-Ma Editorial Paracuellos del Jarama (Madrid). 2012.
- DA SILVA, Nicolás. *Visual LISP – Curso de programación para AutoCAD*. Inforbook's, S.L. Barcelona. 2006.
- JORDÁN LLUCH, Cristina y TORREGROSA SÁNCHEZ, Juan R. *Introducción a la teoría de grafos y sus algoritmos*. Servicio de Publicaciones UPV. Valencia 1996
- ROSEN, Kenneth H. *Matemática discreta y sus aplicaciones*. McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A.U. Aravaca (Madrid). 2004
- TOGORES FERNÁNDEZ, Reinaldo. *Experto AutoCAD con Visual LISP*. Artual S.L. Ediciones. Barcelona. 2012.