

# GENERACION Y TRAZADO DE ESQUEMAS ADIMENSIONALES DE DISTRIBUCION DE EDIFICIOS EN PLANTA

JUAN JOSE SENDRA SALAS

*Profesor de Técnicas de Acondicionamiento de la E.T.S.A. de Sevilla*

## RESUMEN

El presente trabajo pretende ser una contribución al campo de la organización espacial del proyecto de Arquitectura. Se propone un método de generación de trazados adimensionales, completo y coherente, que utiliza la técnica de representación mediante el grafo dual, y se aplica a un ejemplo concreto.

## SUMMARY

This paper is a contribution to the field of spatial organisation of Architectural projects. A consistent method of generation of non-dimensional layouts is presented. The method uses dual graphs technics and it is applied to a particular example.

## INTRODUCCION

La utilización de los ordenadores para transformar radicalmente los modos de proyectar en Arquitectura ha fracasado hasta el momento. Este hecho está en contradicción con las predicciones que muchos teóricos formulaban, hace ya más de una década, sobre lo que supondría para la Arquitectura la adopción de técnicas informáticas.

Sin embargo, es obvio que la asunción de estas técnicas por las ciencias físicas y humanas ha contribuido a un mayor desarrollo de las mismas. La causa de esta notable diferencia entre Ciencias y Arquitectura quizás estribe en no haber resuelto esta última una cuestión previa, consistente en aclarar qué operaciones se podrían encomendar a un ordenador y cuáles otras sería imposible o inadecuado hacerlo.

Nosotros, aunque escépticos ante una posible automatización global del diseño, aceptamos la posibilidad de que se creen los instrumentos que ayuden a tomar las decisiones que el diseño comporta.

En esta línea situamos nuestro trabajo que pretende ser una contribución al campo de la organización espacial del proyecto de Arquitectura. Se centrará en la generación automática de esquemas adimensionales de distribución del espacio en las dos dimensiones de la planta de un edificio a partir de condiciones de diversa índole impuestas por el diseñador.

Recibido: Febrero 1985

## GENERACION AUTOMATICA DE TRAZADOS PLANOS ADIMENSIONALES: DESCRIPCION DEL PROBLEMA

### Trabajos e investigaciones realizados hasta la fecha

Esencialmente, existen dos planteamientos para abordar el problema de generación de esquemas adimensionales de distribución de edificios en planta: el primero lo enfoca como un problema de optimización, buscando la mejor distribución de los espacios que van a componer la planta. El segundo planteamiento lo entiende como un problema combinatorial, generando todas las disposiciones posibles que cumplan unas condiciones determinadas.

Dentro del primer grupo podríamos citar entre otros los trabajos de Levin<sup>10</sup>, Eastman<sup>3</sup> y Shaviv y Gali<sup>13</sup>. Todos ellos definen la disposición óptima mediante una función-objetivo que expresa factores tales como los recorridos que se producen entre dos actividades cualesquiera o la adyacencia entre dos espacios determinados.

En el segundo grupo mencionado destacan los trabajos del LUBFS de la Escuela de Arquitectura de Cambridge y de la Escuela de Arquitectura y Planeamiento Urbano de la Universidad de California en los Estados Unidos. El número de soluciones posibles, grande en un problema con un planteamiento combinatorial, se restringe por la introducción de una serie de requisitos que tienen que cumplir cada una de ellas.

La mayoría de los trabajos, realizados con uno u otro planteamiento, generan esquemas adimensionales rectangulares, aunque ha habido intentos de superar esta limitación con la introducción de rectángulos ficticios, en los trabajos de Shaviv y Gali<sup>13</sup>, o con formulaciones teóricas más complejas, como propone Korf<sup>7</sup>, mediante la utilización de diagramas de bolas.

La teoría de grafos ha sido el instrumento matemático en el que se ha basado gran parte de los métodos propuestos. Ya desde los primeros trabajos sobre estas cuestiones, se parte de la idea de que las condiciones de adyacencia de los espacios que se van a ordenar pueden expresarse mediante un grafo, cuyo grafo dual será precisamente un esquema en planta que cumple las condiciones fijadas. Será la técnica de representación mediante el grafo dual.

En cuanto a los métodos de resolución del problema de generación, hay una primera clasificación debida a Nugent que distingue entre "técnicas de construcción" y "técnicas de mejora". Usando las primeras se parte de un estado nulo y se obtiene una solución introduciendo razones de conveniencia de localización de los espacios. El empleo de las segundas técnicas citadas obliga a partir de una solución inicial que en sucesivas evaluaciones se optimiza.

No obstante, Mitchell<sup>12</sup> entiende que son tres los métodos de resolución que se pueden aplicar: "procedimientos de generación y comprobación", "procedimientos de mejora" y "procedimientos heurísticos". Los dos primeros están en correspondencia con los citados por Nugent. Con los procedimientos heurísticos se trabaja sobre un cierto conocimiento de la estructura del problema. En cada operación de cambio se incorporan nuevos conocimientos que servirán para indicar las nuevas operaciones que hay que realizar.

### Hipótesis de trabajo y alternativas a dichas investigaciones

Nuestra investigación tiene como punto de partida los trabajos de Mitchell<sup>12</sup> y, más concretamente, el procedimiento que este autor propone para la generación automática de esquemas adimensionales de distribución de edificios. Dicho procedimiento utiliza la técnica de representación mediante el grafo dual.

El enfoque de nuestro procedimiento, no obstante, es bien distinto al de Mitchell. La formulación que este autor propone es de tipo combinatorial: dada una serie de espacios, se van a generar todas las localizaciones posibles de los mismos, siempre que cumplan con los requisitos de adyacencia inicialmente impuestos. La naturaleza de este planteamiento limitará enormemente el número de espacios componentes.

Por el contrario, nuestro trabajo pretende llegar a definir las condiciones necesarias para que esa solución sea única; por ello el problema no podrá abordarse desde un planteamiento combinatorial.

Para obtener esa solución única necesitamos imponer al problema unas determinadas limitaciones. Si éstas se introducen desde un principio indiscriminadamente no podrá garantizarse una solución posible. Por ello, y para que el proceso de generación no sea cerrado e inflexible, hemos optado por la adición gradual de restricciones, introduciendo en primer lugar aquéllas que son imprescindibles o más importantes, para progresivamente ir añadiendo otras que son deseables para obtener esa solución única buscada.

El procedimiento que nosotros ponemos para la generación de esquemas adimensionales, alternativo al de Mitchell, comprende las siguientes etapas:

1. Fijación de condiciones iniciales: definición de las adyacencias y orientaciones de los espacios componentes. Construcción del grafo inicial.
2. Test de conectividad: si el grafo inicial no es conexo se introducen nuevas condiciones de adyacencia para lograr que lo sea.
3. Primer test de planaridad: si el grafo no es planar se sustituyen o eliminan las condiciones que lo impiden.
4. Test de triconectividad: si el grafo no es triconexo se trazan en el plano sus componentes triconexas y se añaden nuevas relaciones que las enlacen suficientemente.
5. Segundo test de planaridad.
6. Test de rectangularidad.
7. Triangulación del grafo.
8. Transformación de coordenadas de los vértices del grafo como paso previo a la construcción del grafo dual.
9. Construcción del grafo dual: esquema de distribución buscado que cumplirá todas las condiciones impuestas.

Este proceso no es lineal, permite un "feed back" si la solución obtenida no es satisfactoria. Se pueden realizar entonces cuantas modificaciones se quiera de los requisitos impuestos, incluso de los iniciales, con tal de no variar sustancialmente la estructura del grafo. Bastaría repetir las etapas 7, 8 y 9 para obtener una nueva solución.

Podemos realizar una somera exposición que justifique la utilidad de cada una de las etapas propuestas:

El grafo, que representa las condiciones iniciales de adyacencia y orientación impuestas a los espacios componentes, ha de ser conexo y planar. La comprobación de estas dos propiedades del grafo garantizarán, en el esquema adimensional a que da lugar, que todos los elementos —locales— formen un único conjunto de espacios interconectados (conectividad) y además se podrá representar en las dos dimensiones de una planta (planaridad).

Pero en general, y dependiendo del número y naturaleza de las condiciones impuestas, habrá más de una solución que cumpla todas ellas. Para restringir paulatinamente el campo de soluciones hasta lograr un sólo esquema, se necesita imponer nuevas restricciones. El teorema de Whitney nos dice: "Un grafo triconexo tiene una representación única en el plano para cada una de sus caras o regiones". El test de triconectividad será pues la nueva operación que hay que realizar.

Se puede haber errado en la introducción de algunas relaciones a lo largo del proceso

y ese error se arrastraría hasta el final si no se efectúa previamente un nuevo test de planaridad.

El grafo triconexo y planar puede dar lugar a esquemas donde alguno de los espacios componentes o el contorno no pueda ser rectangular. Como perseguimos la consecución de un esquema dimensional con esas características, hemos de someter al grafo al test de rectangularidad.

Para que a un grafo le corresponda una solución única ha de ser grafo planar máximo y su representación será una triangulación. A ella le corresponde una disposición arquitectónica fundamental. Triangular un grafo supone introducir nuevos requisitos.

Después de una transformación de las coordenadas de los vértices del grafo geométrico, para facilitar la extracción del dual y para que éste se ajuste a las condiciones señaladas sobre la forma de los locales y del contorno, se obtiene una representación en planta que cumple todas las condiciones impuestas.

El procedimiento completo queda recogido en un programa en lenguaje FORTRAN IV para un ordenador Hewlett Packard de la serie 1000-M con un sistema operativo RTE-IVB. El programa, operando de forma interactiva, resuelve el trazado de esquemas adimensionales de distribución de edificios en planta. Para ello, permite la realización automática de cada una de las operaciones necesarias para cumplimentar todas las etapas señaladas en dicho procedimiento, y dirige los intercambios de información entre ordenador y usuario, de forma que éste sólo interviene en el proceso cuando aquél se lo requiere.

## ALGORITMOS PARA LA GENERACION AUTOMATICA DE TRAZADOS PLANOS Y ADIMENSIONALES

En el apartado anterior queda someramente descrito el procedimiento a seguir para la generación de trazados, y su subdivisión en distintas etapas. A continuación, vamos a entrar a detallar las operaciones y algoritmos que se desarrollan en cada una de ellas.

### Fijación de condiciones iniciales

Las condiciones iniciales del problema, es decir, el conjunto de espacios o locales que intervienen en el esquema y sus relaciones de adyacencia y orientación, van a constituir un grafo simple (sin bucles ni aristas múltiples): los locales serán sus vértices y las relaciones entre ellos sus aristas.

Este grafo abstracto,  $G_1$ , queda definido mediante la matriz de incidencia,  $\mathbf{B}(b_{ij})$ , cuyas dimensiones son el número de aristas  $|A|$  y el de vértices  $|V|$ . Sus términos serán:  $b_{ij} = 1$  cuando la arista  $i$  incide sobre el vértice  $j$ , y  $b_{ij} = 0$  en caso contrario.

De la matriz de incidencia se obtiene la de adyacencia,  $\mathbf{A}(a_{ij})$ , de dimensión  $(|V|, |V|)$ , cuyos términos son:  $a_{ij} = 1$  cuando los vértices  $i$  y  $j$  son adyacentes, y  $a_{ij} = 0$  si no son adyacentes.

### Comprobación de conectividad

Con este test garantizamos que el trazado plano a que va a dar lugar el grafo estará formado por un único conjunto de espacios interconectados.

El algoritmo elaborado para comprobar si el grafo es conexo se basa en los estudios de Hopcroft y Tarjan<sup>4</sup>. Se utiliza la técnica "depth first search" para transformar el grafo en una "palmera", partiendo de la matriz de incidencia del mismo. Bastará que la palmera incluya a todos los vértices del grafo para declararlo conexo. Figura 1.

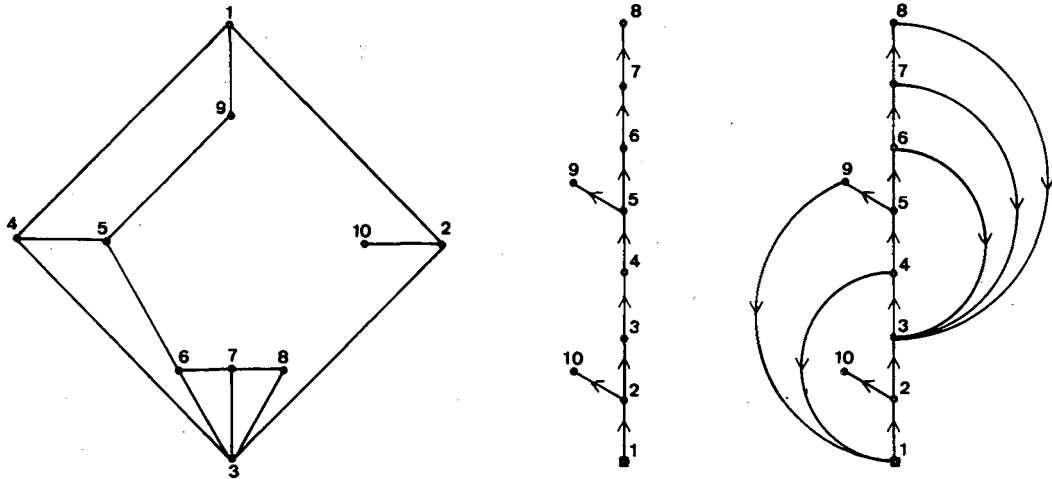


Figura 1.

En caso contrario, habrá que relacionar todas las componentes conexas mediante aristas hasta lograr una sóla. Con esta intervención, el grafo de partida  $G_1$ , es ahora un grafo conexo  $G_2$ .

En esta etapa se puede producir, pues, una primera adición de nuevos requisitos. Cualquier adición o alteración de las condiciones lleva aparejada modificaciones en las matrices de adyacencia y de incidencia del grafo. Hay que hacer notar que el número de vértices permanece en todo momento inalterable, pudiendo aumentar, sin embargo, el número de aristas del grafo.

**Primera comprobación de planaridad**

El grafo ha de ser planar para que el futuro esquema en planta pueda ser representado en el plano.

La comprobación de planaridad se realiza mediante algoritmos desarrollados a partir de los trabajos de Hopcroft y Tarjan<sup>6</sup>, que son una versión de un método originalmente propuesto por Auslander y Parter y formulado posteriormente por Goldstein.

El procedimiento completo que se propone para comprobar la planaridad del grafo comprende las siguientes operaciones:

- Aplicación de la fórmula de Euler.
- Descomposición del grafo en sus componentes biconexas.
- Comprobación de la planaridad de cada una de las componentes biconexas.

Euler estableció que para que un grafo sea planar es condición necesaria que se cumpla la siguiente expresión (para  $|V| \geq 3$ ):  $|A| = 3 \cdot |V| - 6$ ; test muy sencillo y cómodo de realizar.

Al no ser la condición suficiente, hemos de realizar otra operación distinta. Berge<sup>1</sup> establece en un teorema que "un grafo es planar si y sólo si sus componentes biconexas son planares". Así pues, la comprobación de la planaridad de un grafo conexo, queda reducida a la verificación de esta propiedad para cada una de las componentes biconexas.

Las componentes biconexas se identifican con comodidad en la palmera obtenida del grafo conexo  $G_2$ . Los vértices de separación de componentes serán comunes a dos subpalmeras no unidas entre sí por ramas. Figura 2.

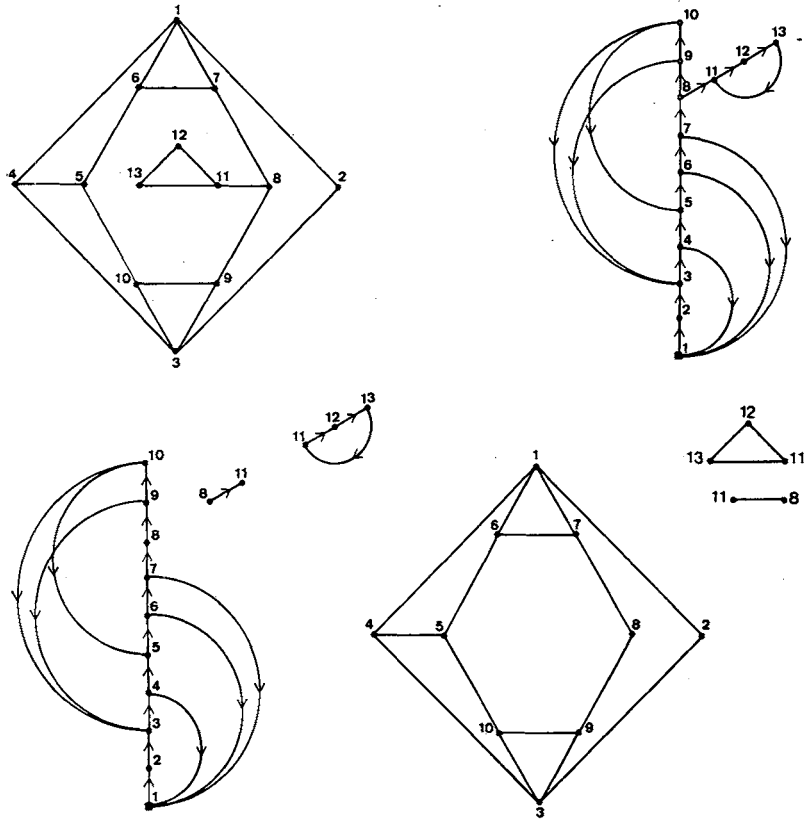


Figura 2

Antes de aplicar el procedimiento general para comprobar la planaridad de cada una de las componentes biconexas, podemos aplicarles un control, rápido y cómodo, que posibilita el teorema de Kuratowski<sup>9</sup>: “Un grafo es planar si no contiene subgrafos isomorfos a  $K_{3,3}$  y  $K_5$ ”. Figura 3.

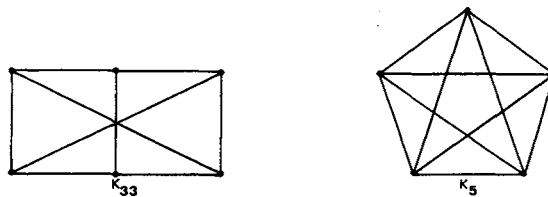


Figura 3

Cualquier componente biconexa que tenga menor número de vértices o aristas que estos dos subgrafos será, por consiguiente, planar y no hará falta aplicarle el método general. Este podemos describirlo mediante las siguientes operaciones —Figura 4—:

1. Aplicación de una “depth first search” sobre la componente biconexa que se analiza transformándola en una palmera. Figura 4.a.
2. Utilización de esta misma técnica para obtener todos los caminos disjuntos sobre esta palmera. Identificación del primer circuito generado: un circuito que empieza y termina en el vértice inicial; lo llamaremos circuito original. Figura 4.b.

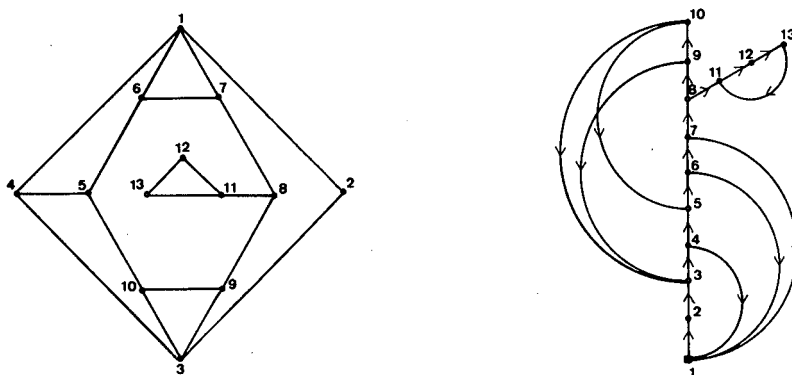


Fig. 4.a.

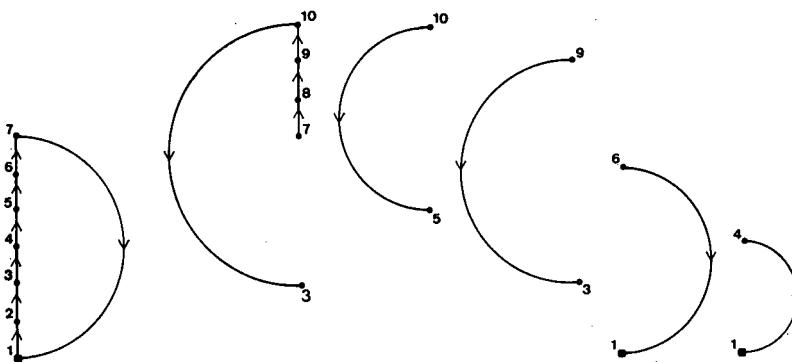


Fig. 4.b.

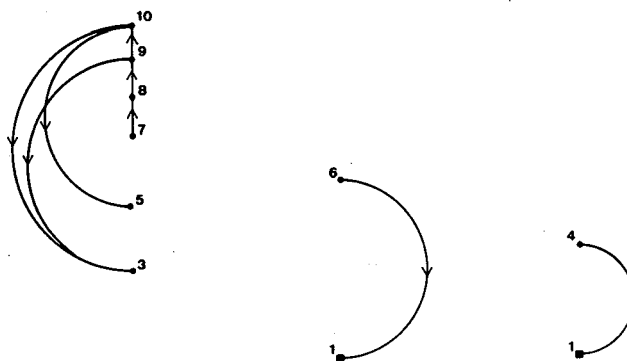


Fig. 4.c.

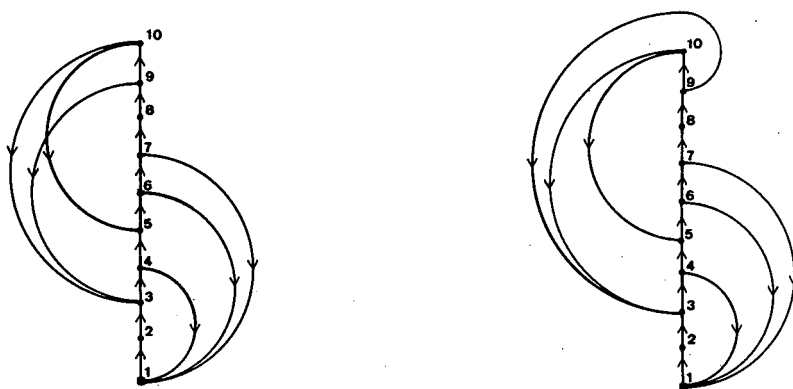


Fig. 4.d.

Figura 4

Después de esta etapa el grafo  $G_3$ , será conexo y planar.

3. Supresión del circuito original e identificación de los segmentos resultantes sobre la palmera. Figura 4.c.
4. Análisis de cada uno de los segmentos en el orden inverso a como se han obtenido. Por el teorema de la curva de Jordan un segmento puede ser representado en el plano bien por el exterior o por el interior del circuito original, sin que se produzca cruce de sus aristas. Figura 4.d.

Si se han podido ubicar todos y cada uno de los segmentos la componente biconexa es planar; En caso contrario, será "no planar" y tendremos que sustituir una arista del segmento que no se puede "empotrar" por otra que permita esta operación.

### Análisis de la triconectividad

El teorema de Whitney, que ya hemos enunciado, nos dice que un grafo triconexo tiene una única representación en el plano del conjunto de sus caras o regiones. Esta propiedad, pues, es importante que se cumpla para poder efectuar una adecuada introducción de nuevos requisitos. Así pues, si el grafo no es triconexo, le añadiremos una serie de aristas para que tenga esta propiedad.

El análisis de la triconectividad se realiza distinguiendo las componentes triconexas de cada una de las componentes biconexas que se han obtenido en la etapa anterior, previo al estudio de la planaridad. El procedimiento que se ha seguido se basa, igualmente, en las investigaciones de Hopcroft y Tarjan<sup>5</sup>. Comprendería las siguientes operaciones —Figura 5—:

1. Aplicación de una "depth first search" sobre la componente biconexa analizada para transformarla en una palmera.
2. Utilización de esta misma técnica para obtener todos los caminos disjuntos sobre esta palmera.
3. Determinación del circuito original y de cada uno de los segmentos.
4. Obtención de los pares de separación, explorando los segmentos en el orden inverso a como han sido generados.
5. Elaboración de las componentes escindidas.
6. Determinación de las componentes triconexas a partir de las escindidas.

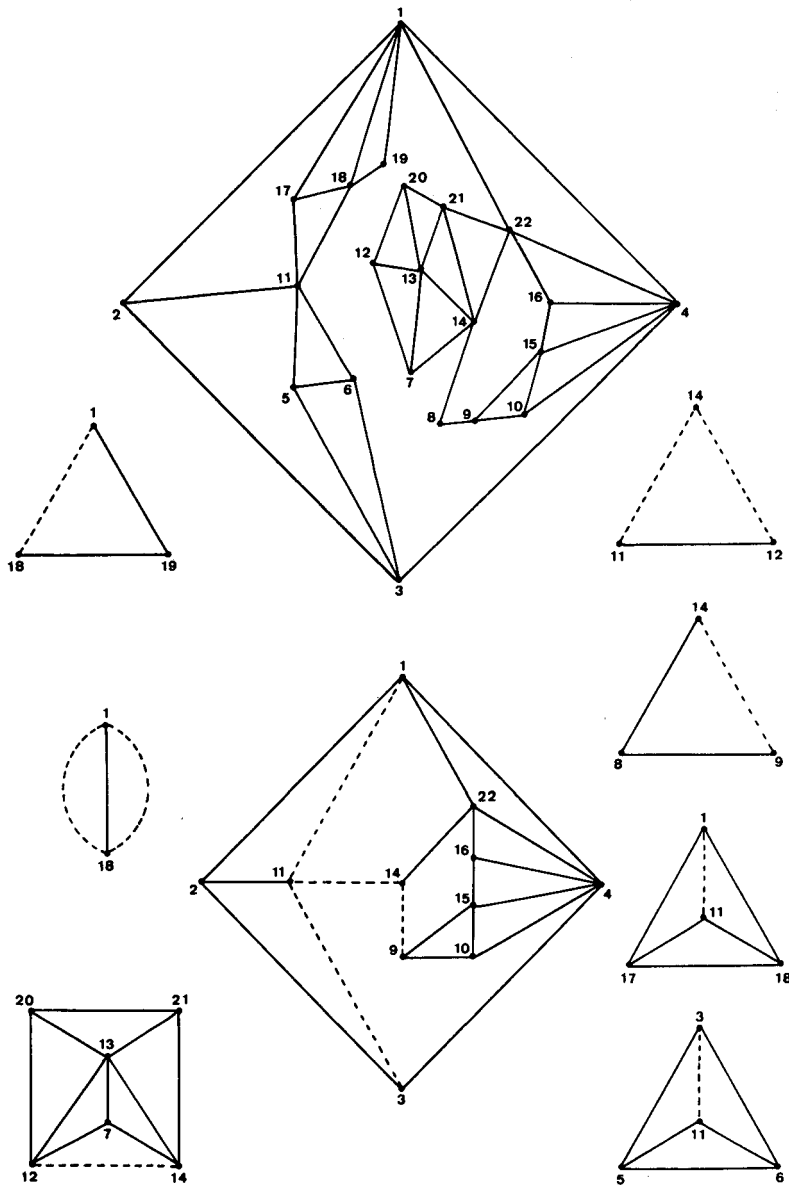
Una vez obtenidas las componentes triconexas de cada componente biconexa podemos fijar un método de adición progresiva de restricciones para lograr que el grafo sea triconexo, impuestas en dos estadios sucesivos:

1. Adición de las aristas necesarias para convertir cada componente biconexa en un subgrafo triconexo.
2. Inclusión de aristas para pasar de varios subgrafos triconexos articulados a un sólo grafo triconexo.

La agregación de aristas, en uno y otro estadio, se hará conforme a las posibilidades que ofrece la aplicación del teorema de la curva de Jordan. Para que el método resulte eficaz, dicha agregación ha de hacerse sobre trazados planos de las distintas componentes o subgrafos que sean de fácil lectura e interpretación. Formulamos, para ello, un algoritmo basado en otro que propone Tutte<sup>14</sup> para la representación de grafos planos triconexos. Se basa en los teoremas de Whitney, ya enunciado anteriormente, y de Fary: "Un grafo planar puede ser trazado en el plano de forma que sus aristas sean segmentos de línea recta y no se crucen".

El algoritmo realiza las siguientes operaciones sobre una componente (grafo o subgrafo) triconexa —Figura 6—:





(1,18) ; (11,14) ; (12,14) ; (9,14) ; (1,11) ; (3,11)

Figura 5

1. Generación de un circuito de forma que dos vértices del mismo, no contiguos, no estén enlazados por ninguna arista.
2. Disposición de los vértices de dicho circuito según los vértices de un polígono regular, con el mismo número de lados que aristas tiene el circuito.
3. Elaboración de las ecuaciones lineales que permiten obtener las coordenadas de los demás vértices. Para ello, se impone que cada vértice ha de localizarse en el centroide de sus vértices adyacentes.

Para un vértice  $V_i$ :

$$\rho_i X_i = \sum_{j=1}^{|\mathcal{V}|} a_{ij} X_j \tag{1}$$

$$\rho_i Y_i = \sum_{j=1}^{|\mathcal{V}|} a_{ij} Y_j \tag{2}$$

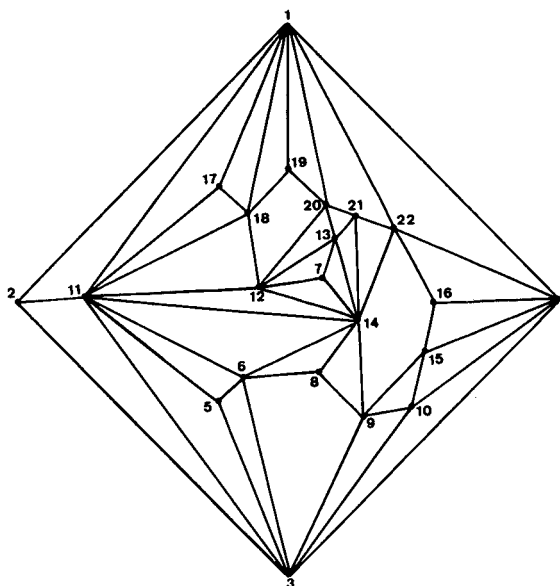


Figura 6

siendo:

$A(a_{ij})$ : matriz de adyacencia de la componente

$\rho_i$ : valencia del vértice  $V_i$

4. Resolución del sistema de ecuaciones lineales correspondiente por el método de eliminación de Gauss.

La componente representada en el plano por este algoritmo posee la propiedad adicional de que todas las regiones finitas en las que queda subdividida tienen forma convexa.

El grafo,  $G_4$ , después de estas etapas será pues triconexo.

### Segunda comprobación de la planaridad

Para hacer triconexo el grafo puede haber sido necesaria la introducción de nuevas aristas. Conviene efectuar un nuevo test de planaridad por si se ha errado en la introducción de alguna de ellas.

El grafo geométrico  $G_5$ , triconexo y planar, podrá ser entonces representado en su totalidad utilizando el algoritmo para trazado indicado en la etapa anterior.

### Comprobación de rectangularidad

Al imponerse la limitación de que tanto el contorno del futuro esquema en planta como cada uno de los locales, sean rectangulares, necesitamos efectuar un test de rectangularidad.

Diversos autores han estudiado este problema, dejando establecido que el grafo cumplirá la condición de rectangularidad si no contiene ningún subgrafo isomorfo al "grafo completo de cuatro vértices". Figura 7.

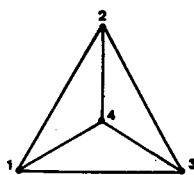


Figura 7

La comprobación de la rectangularidad se simplifica por la naturaleza simétrica de la matriz de adyacencia del grafo. Basta, pues, que para toda cuaterna  $i, j, k, l$ , se cumpla que  $a_{ij}, a_{ik}, a_{il}, a_{jk}, a_{jl}$  y  $a_{kl}$  sean todos distintos de cero para no superar este test. Habrá que revisar, entonces, las relaciones existentes entre los vértices afectados.

El grafo  $G_6$ , después de esta etapa cumplirá la condición de rectangularidad.

### Triangulación del grafo

El grafo  $G_6$ , triconexo y planar, tiene ya una única representación en el plano, pero puede corresponderle más de un dual. Para que sólo hubiese un dual, y fuese por tanto única la solución, tendría que ser, además, grafo planar máximo. Este cumple al límite la condición de Euler ya enunciada:  $|A| = 3 \cdot |V| - 6$ ; y todas sus caras tienen valencia tres. Su representación en el plano recibe el nombre de triangulación. Figura 8.

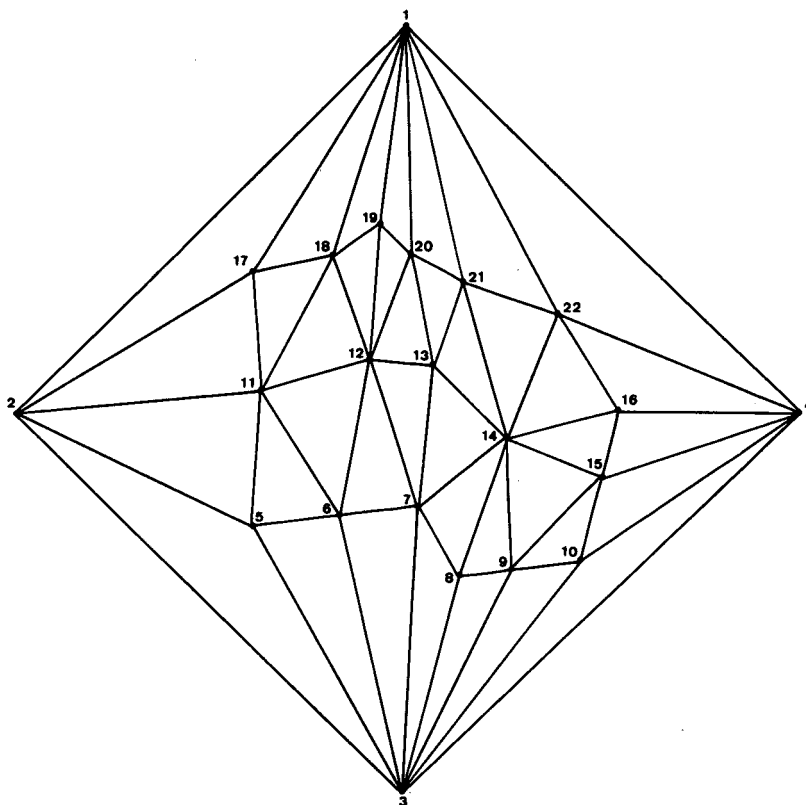


Figura 8

A dicha triangulación le corresponde una disposición arquitectónica fundamental.

Por regla general, tendremos que introducir nuevas relaciones de adyacencia y orientación al grafo de forma que lo triángule y verifique, por consiguiente, la condición de Euler.

La característica especial del grafo que manejamos, con un circuito exterior formado por cuatro aristas que expresan las relaciones entre puntos cardinales, impide poder triangular todas las caras del grafo, pues no se puede incluir una arista que ligue a dos puntos cardinales no contiguos. La fórmula de Euler quedaría corregida así:  $|A| = 3 \cdot |V| - 7$ .

Después de esta etapa, se puede trazar el grafo  $G_7$ , ya triangulado, sin necesidad de modificar las coordenadas de los vértices puesto que su número no ha variado.

**Transformación de coordenadas de vértices**

Antes de la extracción del grafo dual del  $G_7$ , se transforman las coordenadas de los vértices de dicho grafo para facilitar esta operación y para que el futuro trazado en planta se ajuste a las condiciones señaladas para la forma del contorno y de los locales.

El procedimiento general que se sigue consiste en desdoblar uno de los vértices de las regiones triangulares del grafo para que esas mismas regiones sean cuadrangulares. Figura 9.



Figura 9

La transformación de coordenadas de vértices se efectúa según los criterios siguientes --Figura 10--:

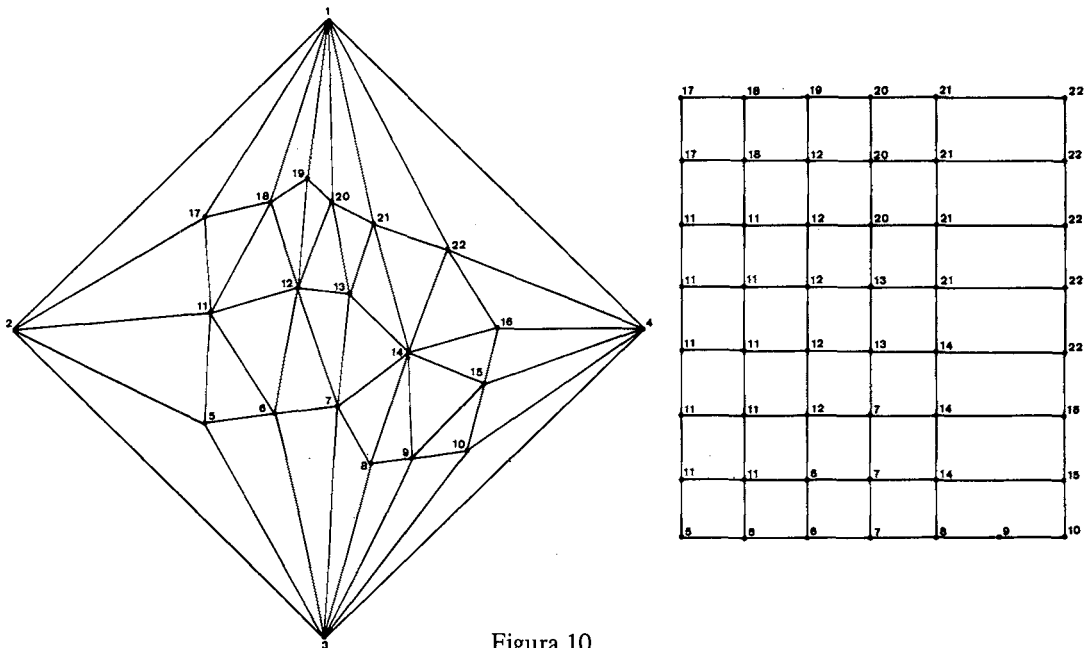


Figura 10

1. Todas las aristas del grafo serán ortogonales. Para ello a un vértice del grafo original le puede corresponder más de uno después de la transformación.
2. El contorno será rectangular, correspondiendo una orientación a cada uno de sus lados. Los vértices sobre un mismo lado representan locales de igual orientación, y los de las esquinas espacios con doble orientación.
3. Los vértices que representan a los puntos cardinales, pertenecientes al grafo original, no figurarán en el nuevo grafo. Servirán para "orientar la transformación".

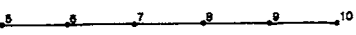
Fig. 11.a. 

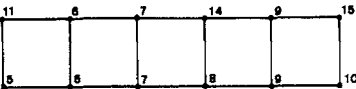
Fig. 11.b. 

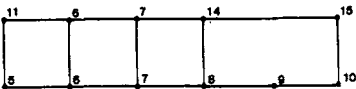
Fig. 11.c. 

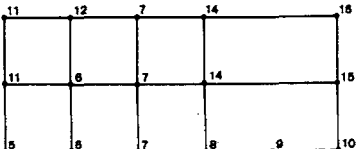
Fig. 11.d. 

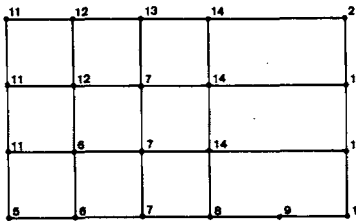
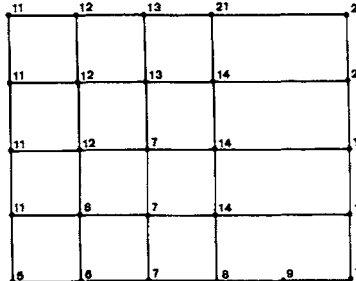
Fig. 11.e. 

Fig. 11.f. 

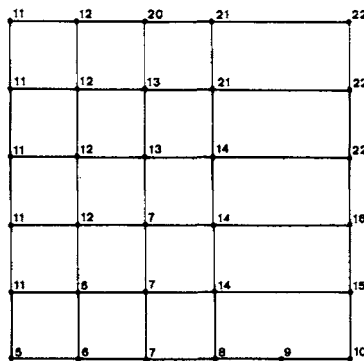


Fig. 11.g.

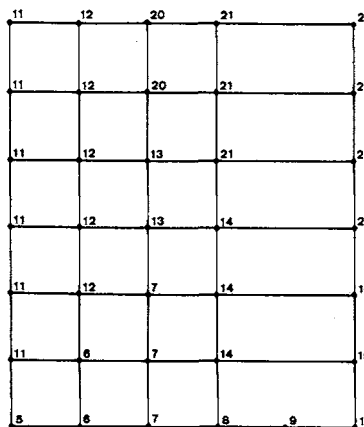


Fig. 11.h.

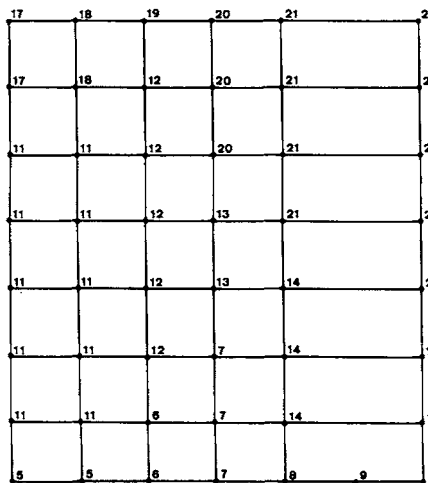


Fig. 11.i.

Figura 11

El procedimiento completo para la transformación incluye las siguientes operaciones --Figuras 10 y 11--:

1. Obtención del circuito de vértices adyacentes a los puntos cardinales.
2. Subdivisión del mismo en cuatro caminos correspondientes a otras tantas orientaciones y elección de aquél que contiene mayor número de vértices como "lado inicial" de la transformación.
3. Situación de los vértices del lado inicial sobre un segmento de línea recta uniformemente espaciados. Figura 11.a.
4. Obtención de un nuevo camino y representación del mismo sobre una recta paralela a la del lado inicial. Para que un vértice, cuyas coordenadas no se han transformado aún, aparezca en dicho camino ha de ser el único adyacente a uno determinado del lado inicial. El resto del camino se completará con la repetición de los vértices que aparecen en dicho lado.  
Los vértices de los dos caminos en cuestión estarán relacionados mediante aristas. Figura 11.b.
5. Test 1. Corrección del último camino si dos vértices adyacentes en el grafo original no aparecen como tales en el nuevo lado generado. Se procederá entonces a la supresión del vértice que aparece entre los afectados, vértice que ya habrá visto transformadas sus coordenadas con anterioridad. Esto no supone en modo alguno una alteración de las relaciones de adyacencia por la forma de extracción del dual que se describirá posteriormente.
6. Test 2. Comprobación si ya se ha transformado algún vértice perteneciente al lado opuesto al inicial. Se señalarán los que cumplan estas condiciones.
7. Transformación de coordenadas de vértices adyacentes a los del camino generado en último lugar. Se seguirá el mismo criterio expresado en la operación 2, siempre que el vértice en cuestión no haya sido marcado por el test 2, en cuyo caso se repetirá en el nuevo camino y, lógicamente, en los caminos sucesivos. Figura 11.c.
8. Test 3. Corrección si aparecen dos caminos sucesivos con los mismos vértices. Se procederá, cuantas veces sea necesario, al desdoblamiento de uno de los caminos representados según segmentos ortogonales al último camino generado. Este ha de tener en común con aquél un vértice no perteneciente al lado opuesto al inicial. Se elegirá con preferencia alguno de los dos caminos ortogonales extremos, siempre que cumpla la última condición mencionada.
9. Repetición cíclica de las operaciones 5, 6, 7 y 8, hasta haber transformado todos los vértices del grafo original. Figuras 11.d a 11.i.

El trazado del grafo resultante,  $G_8$ , responderá a los criterios de transformación indicados anteriormente.

### Obtención del grafo dual

La extracción del grafo dual se efectúa asignando una región rectangular a cada uno de los vértices del grafo  $G_8$ . Dichas regiones se definen por las dos coordenadas de sus cuatro vértices extremos pero, al estar relacionadas entre sí, son en realidad cuatro los parámetros a determinar para cada vértice. Sus coordenadas y las de los vértices adyacentes fijarán los valores de estos parámetros. Figura 12.

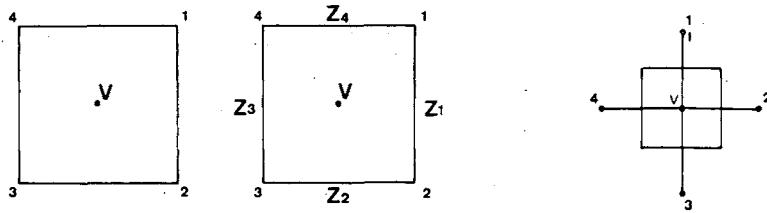


Figura 12

La unión de todas esas regiones nos dará el dual del grafo  $G_8$ . La intersección de dos regiones correspondientes a vértices adyacentes nos dará siempre la arista en común. Figura 13.

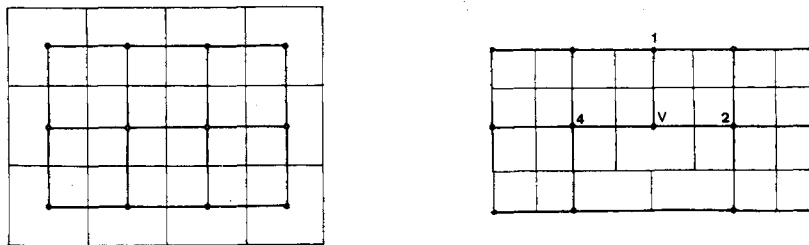


Figura 13

Si suprimimos en el grafo dual la arista intersección de dos regiones que responden a un mismo vértice en el grafo  $G_7$ , antes de la transformación, obtendremos el dual de éste si consideramos también la región exterior. Figura 14.

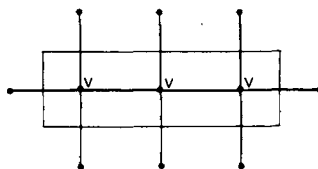


Figura 14

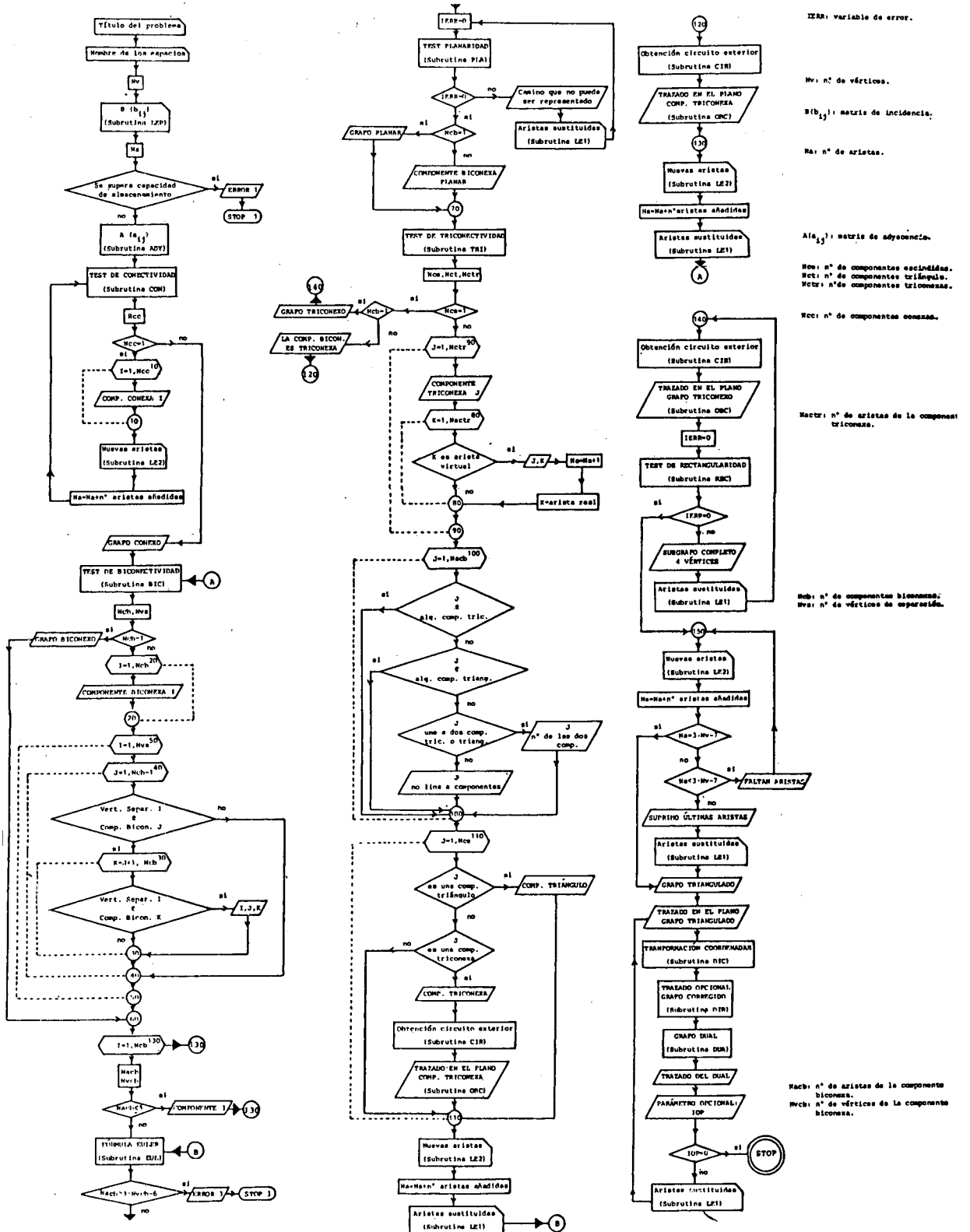
Este grafo geométrico será el trazado adimensional del esquema en planta que cumple todas las relaciones de adyacencia y orientación impuestas; es rectangular en su contorno y en los espacios componentes y carece de espacios vacíos.

Si el esquema trazado nos satisface damos por terminado el proceso. En caso contrario, introducimos las modificaciones oportunas para obtener otro esquema distinto.

### PROGRAMA DE ORDENADOR

Se presenta a continuación el programa que se ha realizado y puesto a punto para ejecutar el procedimiento descrito. Se incluye un organigrama general, en el que se destaca sobre todo la interacción usuario-ordenador, y uno de los ejemplos que se han implementado utilizando dicho programa.

Organigrama general





Ejemplos

Mensaje 11ED1: TITULO EL PROBLEMA

EJEMPLO 1 (ADIMENSIONAL)  
 .....

Mensaje 11ED1: ASIGNE UN NOMBRE A CADA UNO DE LOS ESPACIOS  
 AL FINAL DE LA LISTA INTRODUCE: 0

- ESP NOMBRE
- 5 VESTIBULO
  - 6 COCINA
  - 7 ESTAR-COMEDOR
  - 8 LAVADERO
  - 9 DESPESA
  - 10 PASILLO
  - 11 CUARTO DE BANO
  - 12 TERRITORIO DOBLE
  - 13 TERRITORIO SENCILLO
  - 14 TERRITORIO DOBLE
  - 15 ARMARIO
  - 16 ARMARIO

Mensaje 11ED1: MATRIZ DE INCIDENCIA

LA NUMERACION DE LOS VERTICES Y ARISTAS SE HARA A PARTIR DEL 3.  
 LOS 4 PRIMEROS VERTICES Y ARISTAS CORRESPONDEN A LOS PUNTOS  
 CARDINALES Y SUS RELACIONES. ESTAN INTRODUCIDOS AUTOMATICAMENTE.  
 AL FINAL DE LA LISTA INTRODUCIR: 0

A	V	V
-	-	-
5	3	1
6	3	4
7	3	6
8	3	7
9	4	8
10	6	9
11	7	2
12	7	10
13	3	4
14	10	11
15	10	12
16	10	13
17	10	14
18	11	12
19	12	2
20	12	13
21	13	4
22	13	14
23	14	4
24	14	16
25	13	16
26	13	3
27	16	3
28	6	7

Mensaje 11ED1: EL GRAFO ES CONEXO

Mensaje 11ED1: EL GRAFO NO ES BICONEJO

LOS COMPONENTES BICONEJOS SON:

COMPONENTE: 1  
 ARISTAS: 10

COMPONENTE: 2  
 ARISTAS: 7 4 6 3 12 13 21 22 16 17 14 18 1 2 11 19 20  
 25 26 27 24 23 13 9 28 8 5

LOS VERTICES DE SEPARACION DE ESTOS COMPONENTES SON:

COMPONENTES: 1- 2 ..... VERT. DE SEPAR: 6

-----  
 COMPONENTE BICONEJO:

ARISTAS: 10

Mensaje 11ED1: NO SE DIBUJA POR SER ELEMENTAL

-----  
 COMPONENTE BICONEJO:

ARISTAS: 7 4 6 3 12 13 21 22 16 17 14 18 1 2 11 19 20  
 25 26 27 24 23 13 9 28 8 5

Mensaje 11ED1: LA COMPONENTE BICONEJO ES PLANAR

Mensaje 11ED1: LA COMPONENTE BICONEJO NO ES TRICONEJO

LOS COMPONENTES TRICONEJOS Y TRIANGULOS (DONDE LAS ARISTAS VIENEN EXPRESADAS  
 POR SUS VERTICES EXTREMOS) SON:

COMPONENTE: 3  
 ARISTAS: 1- 2 2- 3 3- 4 4- 1 4- 5 5- 6 6- 4 6- 7 7- 5 7- 2  
 7- 10 10- 12 12- 13 13- 3 13- 16 16- 14 16- 10 16- 6 14- 12 13- 10  
 13- 4 16- 3 12- 2 5- 1

Mensaje 11ED1: ARISTA VIRTUAL EN LA COMPONENTE 3: 6- 4

Mensaje 11ED1: LAS ARISTAS VIRTUALES CITADAS HAN PASADO A SER REALES.  
 POSTERIONAMENTE, SI SE DESEA, PUEDEN SER CARRIADAS POR OTRAS.

Mensaje 11ED1: ALGUNAS DE LAS ARISTAS PERTENECIENTES A ALGUNA COMPONENTE  
 HAY OTRAS QUE NO PERTENECEN A NINGUNA DE ELLAS.

LAS ARISTAS QUE RELACIONAN UNAS COMPONENTES CON OTRAS Y LAS QUE NO ENLAZAN A  
 DOS COMPONENTES CUALEQUIERA SON:

- ARISTA: 10- 11 (NO LIGA A DOS COMPONENTES)
- ARISTA: 11- 12 (NO LIGA A DOS COMPONENTES)
- ARISTA: 6- 8 (NO LIGA A DOS COMPONENTES)
- ARISTA: 0- 4 (NO LIGA A DOS COMPONENTES)

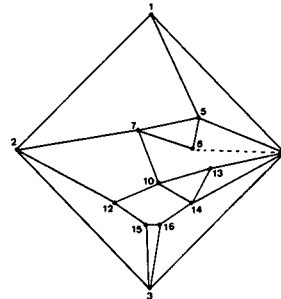
-----  
 COMPONENTE: 3 (TRICONEJO)

ARISTAS: 1- 2 2- 3 3- 4 4- 1 4- 5 5- 6 6- 4 6- 7 7- 5 7- 2  
 7- 10 10- 12 12- 13 13- 3 13- 16 16- 14 16- 10 16- 6 14- 12 13- 10  
 13- 4 16- 3 12- 2 5- 1

Mensaje 11ED1: SE DIBUJA EN EL PLOTTER

Mensaje 11ED1: SE HAN DE INTRODUCIR NUEVAS ARISTAS PARA CONVERTIR EN TRICONEJO,  
 LA COMPONENTE BICONEJO.

LA ADICION DE HARA A LA VISTA DEL DISEÑO TRAZADO,  
 SE PUEDE REALIZAR ESCALONADAMENTE, INTRODUCIENDO SOLO PARTE DE  
 ELLAS, ANADIENDO EL RESTO A PARTIR DE UN NUEVO TRAZADO.



Mensaje 11ED1: EL NUMERO DE ARISTAS ACTUALES ES: 29

Mensaje 11ED1: INTRODUCIR LAS NUEVAS ARISTAS

AL FINAL DE LA LISTA INTRODUCIR: 0

A	V	V
-	-	-
30	2	11

Mensaje 11ED1: SI SE DESEA SE PUEDE SUSTITUIR ARISTAS

- LOS DATOS SE DARAN EN EL SIGUIENTE ORDEN:
- NUMERO DE LA ARISTA
- VERTICE PRIMITIVO
- VERTICE PRIMITIVO
- VERTICE ACTUAL
- VERTICE ACTUAL

AL FINAL DE LA LISTA INTRODUCIR: 0

A	PP	VP	VA	VA
-	-	-	-	-
29	6	4	8	13

Mensaje 11ED1: LA COMPONENTE BICONEJO ES PLANAR

Mensaje 11ED1: LA COMPONENTE BICONEJO ES ADEMAS TRICONEJO

Mensaje 11ED1: SE DIBUJA EN EL PLOTTER

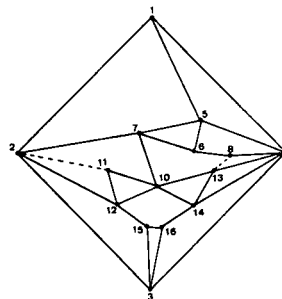
Mensaje 11ED1: SE HAN DE ANADIR NUEVAS ARISTAS PARA QUE EL GRAFO SEA TRICONEJO  
 ESTAS ARISTAS ENLAZARAN A LAS DISTINTAS COMPONENTES BICONEJAS  
 ENTRE SI.

Mensaje 11ED1: EL NUMERO DE ARISTAS ACTUALES ES: 30.

Mensaje 11ED1: INTRODUCIR LAS NUEVAS ARISTAS

AL FINAL DE LA LISTA INTRODUCIR: 0

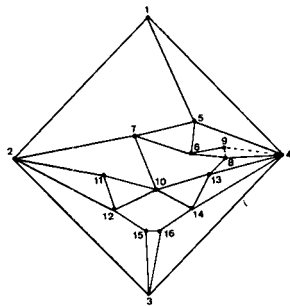
A	V	V
-	-	-
31	3	4
32	9	8



Mensaje 1:SR1: SI SE DESEA SE PUEDE SUSTITUIR ARISTAS

LOS DATOS SE DARAN EN EL SIGUIENTE ORDEN:  
 - NUMERO DE LA ARISTA  
 - VERTICE PRIMITIVO  
 - VERTICE PRIMITIVO  
 - VERTICE ACTUAL  
 - VERTICE ACTUAL  
 AL FINAL DE LA LISTA INTRODUCE: 0

A VP VP VA VA  
 . . . . .



Mensaje 1:SR1: EL GRAFO ES BICONECO

Mensaje 1:SR1: EL GRAFO ES PLANAR

Mensaje 1:SR1: EL GRAFO ES TRICONECO

Mensaje 1:SR1: SE DIBUJA EN EL PLOTTER

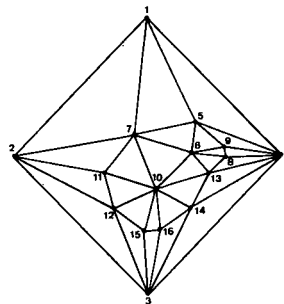
Mensaje 1:SR1: A LA VISTA DEL GRAFO TRICONECO DIBUJADO, INTRODUCE LAS ARISTAS NECESARIAS PARA TRIANGULAR EL GRAFO

Mensaje 1:SR1: EL NUMERO DE ARISTAS ACTUALES ES: 32

Mensaje 1:SR1: INTRODUCE LAS NUEVAS ARISTAS

AL FINAL DE LA LISTA INTRODUCE: 0

A	VP	VP	VA	VA
33	5	5		
34	6	10		
35	6	13		
36	7	1		
37	7	11		
38	10	15		
39	10	14		
40	12	3		
41	14	3		



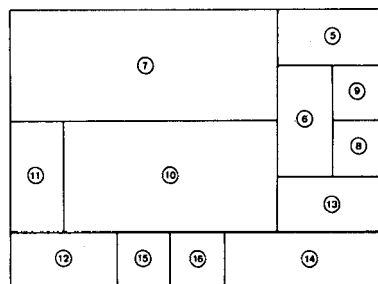
Mensaje 1:SR1: GRAFO TRIANCULADO

Mensaje 1:SR1: SE DIBUJA EN EL PLOTTER

Mensaje 1:SR1: POR EL ORIGEN DE LA PLUMA DONDE DEBEES

LA DIRECCION DEL CONTROL ES 14.00 X 10.00

Mensaje 1:SR1: SI DESEAS TERMINAR INTRODUCE: 0  
 EN CASO CONTRARIO INTRODUCE: 1



## CONCLUSIONES

La posibilidad teórica de generar esquemas de distribución de espacios ha sido el punto de partida de nuestro estudio, posibilidad formulada con anterioridad por diversos autores.

Tras el análisis riguroso de los procesos sugeridos por las investigaciones sobre el tema y su crítica en función de los objetivos, el trabajo que presentamos consiste, esencialmente, en la propuesta de un nuevo procedimiento de generación de trazados adimensionales, completo y coherente.

El método que proponemos utiliza la técnica clásica de representación mediante el grafo dual.

La elaboración de este método lleva consigo el desarrollo de algunos algoritmos completamente originales, así como la adaptación de otros tradicionalmente aplicados. El conjunto de todos ellos ofrece una serie de ventajas: no limita el número de espacios componentes; es un proceso dinámico en el que las condiciones pueden introducirse de modo progresivo; es, además un método flexible que permite en todo momento la revisión de las condiciones impuestas; y por último, es aplicable de un modo general - cualquiera que sea la estructura del grafo de partida-.

La comprobación de la planaridad y K-conectividad del grafo se basa en los estudios de Hopcroft y Tarjan. Los algoritmos mencionados permiten analizar de modo progre-

sivo cada una de estas propiedades. Se ha utilizado el algoritmo que desarrolla Tutte para el trazado de grafos triconexos, con las adaptaciones pertinentes para una adecuada acción integrada usuario-ordenador.

El trabajo desarrollado pretende, en suma, servir de aportación a las formulaciones teóricas necesarias para la revisión de la utilidad del ordenador en el diseño arquitectónico. Con ello, contribuimos, tal vez, a la incorporación de este poderoso instrumento a una disciplina que hasta ahora se ha mantenido apartada de su inexorable influencia.

#### BIBLIOGRAFIA

1. C. Berge. *Graphes*, Bordas (1983) (3.<sup>a</sup> ed.), 1.<sup>a</sup> ed. Dunod (1970).
2. C. F. Earl y L. J. March. "Architectural applications of graph theory". En *Applications of graph theory*, (R. J. Wilson y L. W. Beineke ed.), Academic Press, Londres, pp. 327-355 (1979).
3. C. M. Eastman. "Representations for space planning". En *Communications of the ACM*, Vol. 13, n.º 4, pp. 242-250, Abril (1970).
4. J. Hopcroft y R. Tarjan. "Efficient algorithms for graph manipulation". En *Communications of the ACM*, Vol. 16, n.º 6, pp. 372-378, Junio (1973).
5. J. Hopcroft y R. Tarjan. "Dividing a graph into triconnected components". En *Siam J. Comput.*, Vol. 2, pp. 135-158 (1973).
6. J. Hopcroft y R. Tarjan. "Efficient Planarity Testing". En *Journal of the Association for Computing Machinery*, Vol. 21, n.º 4, pp. 549-568, Octubre (1974).
7. R. E. Korf. "A shape independent theory of space allocation". En *Environment and Planning B*, Vol. 4, pp. 37-50 (1977).
8. M. Krejcirik. "Computer-aided plant layout". En *Computer aided design*, pp. 7-19, Otoño (1969).
9. K. Kuratowski. "Sur le probleme des courbes gauches en topologie". En *Fundamenta Math.*, Vol. 15, pp. 271-283 (1930).
10. P. H. Levin. "Use of graphs to decide the optimum layout of buildings". En *The Architect's Journal Information*, Vol. 7, pp. 809-815, Octubre (1964).
11. W. J. Mitchell ed. al. "Synthesis and optimizations of small rectangular floor plans". En *Environment and Planning B*, Vol. 3, pp. 37-70 (1976).
12. W. J. Mitchell. *Computer-aided architectural design*, Mason/Charter Publishers, Nueva York, (1977).
13. E. Shaviv y D. Gali. "A Model for space allocations in complex buildings": A computer graphic approach". En *Build. International*, Vol. 7, pp. 493-518 (1974).
14. W. T. Tutte. "How to draw a graph". En *Proc. London Math. Soc.*, Vol. 3, pp. 743-768 (1963).

**Anuncio de la formación de la**  
**ASOCIACION ARGENTINA DE**  
**MECANICA COMPUTACIONAL**  
**AMCA**

La Asociación Argentina de Mecánica Computacional (AMCA), congregará a ingenieros, físicos, matemáticos y demás interesados en

- \* Promover la difusión de información científica y tecnológica en el área de Mecánica Computacional.
- \* Favorecer el intercambio científico y profesional del uso de los métodos numéricos y las técnicas computacionales tanto a nivel de investigación como en transferencia al sector industrial.
- \* Estimular la investigación y el aprendizaje de las teorías básicas de la Mecánica Computacional a nivel universitario y de postgrado.
- \* Congregar instituciones académicas, empresarias y gubernamentales que tengan interés en la investigación científica o la innovación tecnológica en el área, facilitando un foro para la discusión de problemas en los que deben participar las ciencias básicas, tecnológicas y la industria.

Para lograr estos objetivos, la Asociación realizará las siguientes actividades:

- \* Coordinación de reuniones y encuentros científicos.
- \* Intercambio de información y de trabajos científicos y tecnológicos entre sus socios.
- \* Organización de un Congreso auspiciado por la Asociación a intervalos regulares de tiempo.
- \* Edición de un boletín informativo sobre las actividades generales de la AMCA.

La Asociación será provisoriamente conducida por un Comité Organizador constituido por:

F. BASOMBRI (CNEA, CONICET)  
A. FERRANTE (ISC)  
J. C. FERRERI (CNEA, CONICET)  
S. IDELSOHN (INTEC, CONICET, UNL)  
G. MARSHALL (CNEA, CONICET)  
C. PRATO (UNC)  
G. SANCHEZ SARMIENTO (ENACE)

*Para información dirigirse a:*

**ASOCIACION ARGENTINA DE MECANICA COMPUTACIONAL (AMCA)**  
Guemes 34-50 - 3000 Santa Fe - ARGENTINA  
Tel.: (042) 20023/24 - 31602 - 36379 - Telex: 48186 INTEC AR