

# **PROYECTO FINAL DE CARRERA**

DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA  
INFORMÁTICA BASADA EN EL  
ALGORITMO CORELAP PARA LA  
OPTIMIZACIÓN DE DISTRIBUCIONES EN  
PLANTA



BENITO FERNÁNDEZ MÁRQUEZ  
Titulación: Ingeniero de Organización Industrial  
Universidad de Sevilla

## Índice:

1. Objeto del proyecto.....	1
2. Introducción .....	4
3. Formatos básicos de la distribución en planta.....	6
3.1 Distribución por proceso .....	6
3.2 Distribución por producto .....	8
3.3 Tecnología de grupos o distribución celular.....	11
3.4 Distribución de posición fija.....	12
3.5 Distribuciones reales.....	13
3.6 Elección de la distribución.....	15
4. Systematic Layout Planning .....	17
4.1 Principios del Systematic Layout Planning.....	17
4.2 Tipos de flujo.....	19
4.3 Relación entre actividades .....	21
4.4 Diagrama de relaciones .....	23
4.5 Necesidades de espacio y disponibilidad.....	24
4.6 Diseño de la distribución .....	27
4.6.1 Diseño del Diagrama de Espacio de Relaciones, el Plano de Bloque y Distribución en Planta Detallada .....	26
4.6.2 Diseño de las distribuciones flexibles .....	28
4.6.3 Diseño del sistema de tratamiento de materiales .....	28
4.6.4 Presentación del diseño de la distribución.....	29
4.7 Selección, Especificación, Implementación y Seguimiento.....	30
5. Generación de Layouts por computador .....	32
5.1 Métodos de generación de Layouts .....	32
5.2 Evolución histórica .....	33
5.2.1 Desarrollos.....	34

5.3 Ubicación de actividades .....	37
5.4 Métodos de construcción .....	38
5.4.1 ALDEP .....	38
5.4.2 CORELAP .....	39
5.5 Aplicaciones de los algoritmos computacionales de construcción .....	41
5.5.1 Aplicación del algoritmo ALDEP .....	41
5.5.2 Aplicación del algoritmo CORELAP .....	46
5.6 Métodos de mejora .....	62
5.6.1 CRAFT .....	62
5.6.2 COFAD.....	64
5.7 Aplicaciones de los algoritmos computacionales de mejora.....	65
5.7.1 Aplicación del algoritmo CRAFT .....	65
5.8 Generación de Layouts por líneas de producción.....	68
5.9 Control de la forma .....	69
6. Desarrollo de la aplicación CORELAP 01 .....	72
6.1 Diagrama de flujo de inicio.....	72
6.2 Diagrama de flujo del algoritmo de selección de departamentos.....	76
6.3 Diagrama de flujo del algoritmo de colocación de departamentos.....	82
6.4 Manual de usuario .....	88
7. Conclusiones .....	89
 Bibliografía.....	 91

Documento Anexo: Manual de usuario Corelap 01

## 1. OBJETO DEL PROYECTO

Una distribución en planta debe determinar la localización de los departamentos, de los grupos de trabajo dentro de los departamentos, de las estaciones de trabajo, de las máquinas, de los puntos de mantenimiento, de las existencias dentro de unas instalaciones de producción, etc.

La distribución en planta de una organización es por tanto de gran importancia dado que una vez nos decidimos por un tipo determinado la modificación de ésta puede ser muy difícil, imposible y en todo caso costosa en una mayor o menor medida.

El objetivo es organizar estos elementos de una manera tal que se garantice un flujo de trabajo uniforme en una fábrica, o un patrón de tráfico determinado en una organización de servicios.

En este contexto el objeto de este proyecto es el diseño de una aplicación informática desarrollada en Visual Basic que ayude a las organizaciones a diseñar esa distribución en planta que mejor optimice sus recursos para el desarrollo de una actividad. La aplicación ayuda a tomar una de las decisiones más difíciles e importantes y que determinan en parte el éxito o el fracaso de una organización, que es el cómo colocar cada uno de los elementos que la componen, unos respecto a otros.

Para lograr este objetivo la aplicación objeto del proyecto se apoya en el algoritmo CORELAP (Computerized Relationship Layout Planning) desarrollada por *Lee y Moore* en 1967.

Pese a la fecha de que data el algoritmo CORELAP apenas existen herramientas comerciales que permitan el diseño de la distribución en planta con este u otro algoritmo de ahí que se planteara la necesidad de su implementación.

Este algoritmo genera distribuciones desde los datos de partida. Estos datos de partida son de origen cualitativo y son introducidos por el usuario por medio de pesos numéricos que se denominan necesidades de proximidad.

El algoritmo Corelap forma parte de los métodos clásicos de distribución en planta que se basan en la implementación de una matriz que conecta las

diferentes secciones de la planta estableciendo entre cada par de secciones una determinada relación de importancia que refleja la necesidad de cercanía entre dichas secciones. La importancia asignada puede depender de varios factores simultáneamente, como el flujo de materiales, el flujo de personal, la facilidad de supervisión, etc. y la calificación de esa importancia puede ser desde “absolutamente necesaria” hasta “indeseable”.

Los algoritmos tradicionales para establecer el layout se basan en la obtención de esa matriz de relaciones según la opinión de un experto, y a partir de ella en establecer un ranking comparativo múltiple que permita optimizar la colocación de las diferentes secciones secuencialmente. En el caso de que alguna de las relaciones no se cumpla, se aplicará una penalización y para cada alternativa de layout se obtendrá una evaluación que permita compararlas.

El hecho de que el número de factores cuantitativos sea enorme y diferente según el caso concreto de una distribución determinada hace que la valoración cualitativa dada por un experto sea muy válida. Además en caso de distribuciones sobre las que se tenga poca experiencia siempre se pueden tomar las valoraciones en función de los valores cuantitativos de los factores más importantes.

La aplicación considera los elementos a colocar con un mismo tamaño y a partir de estos genera una distribución de partida por medio del algoritmo mencionado. A partir de esta distribución de partida podemos diseñar la distribución en planta real teniendo en cuenta las posiciones relativas que nos aporta y siempre contando con las limitaciones de espacio que se nos imponen.

Los datos de partida utilizados en la aplicación deben de ser introducidos por el usuario dentro de una escala por el mismo establecida y son función de lo apropiado que éste considere la cercanía de dos secciones o elementos analizando su interacción de forma independiente a todos los demás.

La aplicación desarrollada da como resultado el diseño gráfico de la distribución en planta óptima según los datos introducidos para el algoritmo aplicado.

Desarrollo de una herramienta informática basada en el algoritmo CORELAP  
para la optimización de distribuciones en planta

Para más detalles sobre la aplicación en Visual Basic dirigirse al Anexo “Manual Corelap 0.1” donde se explica detalladamente como funciona la interfaz gráfica del programa y la aplicación del algoritmo.

## 2. INTRODUCCIÓN

Las decisiones sobre distribución implican la determinación de la localización de los departamentos, de los grupos de trabajo, etc. en general, los componentes de la decisión sobre distribución son los siguientes:

1. La especificación de los objetivos y criterios correspondientes que se deben utilizar para evaluar el diseño. La cantidad de espacio requerida y la distancia que debe ser recorrida entre los elementos de la distribución, son criterios básicos comunes.
  2. La demanda estimada del producto o de servicio sobre el sistema.
  3. Los requisitos de procesado en términos del número de operaciones y de la cantidad de flujo entre los elementos de la distribución.
  4. Los requisitos de espacio para los elementos de la distribución.
  5. La disponibilidad de espacio dentro de las instalaciones o, si éstas son nuevas, las posibles configuraciones del edificio.
  6. El flujo de información, para medir la comunicación interdepartamental.
  7. El flujo de personal que podría medirse como el número de empleados de uno o ambos departamentos que desarrollan su actividad en ambas secciones.
  8. Condiciones ambientales.
  9. Facilidad de supervisión.
- etc.

Como se puede ver el número de factores a tener en cuenta a la hora de diseñar una distribución en planta (o layout en inglés) son muchos, y por lo tanto difíciles de contemplar en su totalidad por un algoritmo de forma cualitativa.

A la estrategia de distribución en planta se le va a pedir que cumpla con los siguientes requerimientos:

- a. El diseño del producto y su volumen (estrategia de producción).
- b. Los procesos y capacidad (estrategia de proceso).
- c. Seguridad y salud en el trabajo (estrategia de recursos humanos).

- d. Restricciones físicas de la planta o edificio (estrategia de localización).

La distribución en planta especifica la localización de los procesos, el equipamiento, áreas de trabajo incluyendo también zonas de atención al cliente y almacenado. Una distribución eficaz facilita el flujo de materias y gente en/y entre departamentos. El objetivo de la gestión es acomodar al sistema en un pico de efectividad y eficiencia.



### 3. FORMATOS BÁSICOS DE LA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

Los formatos según los cuales se arreglan los departamentos están definidos por el patrón general del flujo de trabajo; existen tres tipos básicos de formatos (la distribución por proceso, la distribución por producto y la distribución de posición fija) y un tipo híbrido (la tecnología de grupo o distribución celular).

#### 3.1 Distribución por proceso

También llamada taller de empleos, distribución funcional o job-shop, es un formato según el cual los equipos o funciones similares se agrupan, como por ejemplo en un taller de mecanizado, todos los tornos en un área y todas las talladoras en otra. De acuerdo con la secuencia establecida de las operaciones, una parte ya trabajada pasa de un área a otra, en donde se encuentran ubicadas las máquinas apropiadas para cada operación. Este tipo de distribución es típica en los pequeños talleres como por ejemplo el de vehículos, en donde se dedican áreas para determinados tipos de trabajos, como es el caso de chapa y pintura, mecánica rápida, ruedas, etc.

Con esta distribución se pueden simultanear la producción de diferentes tipos de productos o la prestación de diversos servicios, y es la más eficaz en dichas condiciones. Esta distribución es típica cuando se da un bajo volumen de producción, y una gran variedad. Por lo tanto estamos tratando con una distribución que aporta flexibilidad de producción o de prestación de un servicio. En este entorno cada producto o pequeño grupo de productos tiene una secuencia diferente de producción. Un buen ejemplo son los hospitales en los que un paciente tipo entra por admisión y en función de su dolencia pasará por una de las especialidades disponibles, traumatología, curas, cirugía, etc.

La gran ventaja de la distribución por proceso es su flexibilidad en equipamiento y en la labor de asignación. Por ejemplo, la rotura de una máquina no implica la parada de todo el proceso; el trabajo puede ser

transferido a otras máquinas en el departamento. La distribución orientada a objetos o job-shop es especialmente buena para producciones por lotes pequeños y para la producción de una amplia variedad de componentes diferentes en tamaño y forma.

La desventaja de este tipo de distribución viene del uso general del equipamiento, dado que toma más tiempo y dinero moverse a través del sistema y también hay una mayor dificultad de planificación, puesta a punto, y previsión de materias primas. Además, se requiere de un mayor nivel de inventarios entre operaciones (work in process) dada las grandes variaciones en el proceso productivo. Este tipo de distribución necesita de un alto nivel de entrenamiento y experiencia; los inventarios intermedios incrementan el capital invertido.

En la distribución según proceso, la táctica más común es colocar los departamentos o centros de trabajo en las localizaciones más económicas. La localización más económica significa minimizar el coste por transporte de material, esto se consigue colocando más cerca los departamentos con gran interdependencia en flujos de gente y/o materiales.

La búsqueda de la distribución óptima de los departamentos se puede hacer de forma analítica minimizando las causas de coste de cada una de las distribuciones posibles:

$$\text{Minimizar coste transporte} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n X_{ij} C_{ij}$$

*X<sub>ij</sub>* \_ distancia entre departamentos  
*C<sub>ij</sub>* \_ coste de transporte unitario

La distribución orientada al proceso intenta minimizar las cargas o tiempos de transporte que más coste ocasionan.

La aplicación de algoritmos matemáticos o gráficos que minimicen los costes se pueden aplicar cuando el número de departamentos no es muy elevado, pero cuando el número de éstos es mayor de 20 se hace necesaria la utilización de programas computacionales. En próximos apartados veremos que tipo de algoritmos se utilizan y como funcionan.

<b>Ventajas</b>	<b>Inconvenientes</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Requerimiento de menores costes de inversión.</li> <li>-Mayor flexibilidad, permite fabricación de alta gama de productos.</li> <li>-La rotura de una máquina no implica la parada de la producción.</li> <li>-Permite supervisión especializada.</li> <li>-Adaptable a demanda intermitente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Mayores líneas de flujo, implica mayores costes por desplazamiento de personas y productos.</li> <li>-Permite un volumen de producción bajo.</li> <li>-Precisa de trabajadores bien preparados (polivalentes).</li> <li>-Planificación de la producción y sistemas de control complejos.</li> <li>-Tiempos de producción altos.</li> <li>-Gran nivel de WIP (Work In Process) o inventarios de productos intermedios.</li> </ul>

### 3.2 Distribución por producto

Llamada también distribución del taller de flujos o flow-shop, es un formato en el cual el equipo o los procesos de trabajo se arreglan de acuerdo con los pasos progresivos mediante los cuales se hace el producto. El camino para cada parte es, en efecto, una línea recta. Las líneas de producción para los coches, las plantas químicas, etc. son todas distribuciones por producto.

Por lo tanto, la distribución por producto está organizada alrededor de un producto o una familia de productos con un gran volumen y poca diversidad. Se asume que:

1. El volumen de producción es el adecuado para mantener ocupados los equipos.
2. La demanda de producto es estable, para justificar la inversión en equipos especializados.

3. El producto está estandarizado o en una fase de vida en la que no se produzcan cambios. Debido a la especificidad de los medios un cambio en el producto puede convertir en no válido un medio.
4. Las materias primas de partida son uniformes en calidad y adecuadas para trabajar con equipos especializados.

Producciones repetitivas y continuas utilizan este tipo de distribución.

Una versión de la distribución por producto es una línea de fabricación, otra es una línea de montaje. La línea de fabricación construye en máquinas en serie componentes como automóviles, tiras de metal, partes de frigoríficos, etc. En una línea de montaje los elementos de producción forman grupos que se colocan en serie. Para el correcto funcionamiento de la línea los tiempos de ciclo de cada máquina o grupo de trabajo debe de estar equilibrado con el del resto. Lo ideal es que el tiempo de ciclo de cada una de las máquinas que conforman la línea fuera el mismo o lo más parecido posible.

Las líneas de fabricación dependen del tiempo de ciclo de las máquinas para el equilibrado de las mismas y por tanto requieren de cambios mecánicos y de ingeniería para facilitar el equilibrado de la misma. Por otro lado las líneas de montaje pueden equilibrarse desplazando las tareas de un individuo a otro. De esta manera la cantidad de tiempo requerido por cada individuo o estación es equivalente. El montaje de incluso grandes productos como el *Boeing 757*, es hecho en una distribución según producto.

El principal problema de la distribución orientada al producto es equilibrar la salida a cada centro de trabajo en la línea de producción mientras se obtiene la cantidad deseada de producto. El objetivo de la gestión es crear un flujo continuo y suave a lo largo de la línea de montaje con un mínimo de tiempo libre en cada centro de trabajo. Una línea de montaje bien equilibrada tiene la ventaja de facilitar la utilización del personal y de mantener equidad de carga de trabajos entre empleados. Algunos contratos llegan a incluir términos sobre la igualdad de carga de trabajo en la misma línea de montaje. Efectivamente el objetivo de una distribución orientada al producto es evitar el desequilibrio en una línea de montaje o producción.

La principal ventaja de este tipo de distribución es la baja variabilidad de coste por unidad normalmente asociado a grandes volúmenes y a la estandarización de productos. Este tipo de distribución también mantiene bajos costes de transporte de materiales, reducidos inventarios intermedios, y hace fácil la supervisión.

Estas ventajas suelen pesar más que las desventajas, como son:

1. Es preciso un gran volumen de producción para justificar la gran inversión realizada
2. La parada de cualquier puesto de trabajo detiene la línea completa.
3. Hay una falta de flexibilidad en el tratamiento de variedad de productos y en las tasas de producción.

En este tipo de distribución normalmente el producto se desplaza automáticamente, como en un convoy, atravesando los centros de trabajo antes de ser completado. Este es el modo de funcionamiento de las líneas de montaje de vehículos, televisiones, y el modo en que las empresas de comida rápida de hamburguesas las hacen. La distribución orientada al producto utiliza medios más específicos que en la distribución orientada al proceso.

<b>Ventajas</b>	<b>Inconvenientes</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Flujo lógico y suave</li> <li>- Bajo nivel de inventarios de productos intermedios (WIP).</li> <li>- Bajo tiempo de producción.</li> <li>- No se precisa de operarios especializados.</li> <li>- Planificación de la producción y sistemas de control simples.</li> <li>- Fácil supervisión.</li> <li>- Baja variabilidad del coste de producción.</li> <li>- Bajos costes de transporte interdepartamental de material.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-La parada de una máquina implica también la parada de una línea.</li> <li>-La gama de productos que se pueden producir es muy escasa, baja flexibilidad.</li> <li>- Una variación en el producto puede implicar grandes costes por la especificidad de los medios de producción.</li> <li>-Ciclo de producción determinado por el cuello de botella.</li> </ul>

### 3.3 Tecnología de grupos o distribución celular

En este tipo de distribución se agrupan máquinas disímiles en centros de trabajo (o células) para trabajar en productos que tengan formas y requisitos de procesamiento similares. Una distribución de tecnología de grupo es similar a la distribución por proceso, y es similar a la distribución por producto en que las células están dedicadas a una gama limitada de productos. (La tecnología de grupo se refiere a la clasificación de las partes y al sistema de codificación utilizado en tipos de máquinas específicas que va a una célula).

La tecnología de grupos es usada cuando el volumen de producción garantiza un especial acomodamiento de la maquinaria y equipamiento. En un ambiente de manufactura, la tecnología de grupos identifica productos que tienen similares características y permiten no sólo a un grupo particular de cosas (por ejemplo, grandes cantidades de un mismo producto), sino a familias de cosas, ser procesadas en la misma célula de trabajo. La idea de la célula de trabajo es disponer máquinas, que normalmente estarían dispersas en varios grupos de trabajo, en pequeños grupos de trabajo con una distribución por proceso. Siendo por tanto esta disposición un paso intermedio entre la distribución por producto y la distribución por proceso.

<b>Ventajas</b>	<b>Inconvenientes</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Mayor utilización de las máquinas que en la distribución por proceso.</li> <li>-Equipos de propósito general.</li> <li>-Es un compromiso entre una distribución según producto y según proceso en términos de espacio requerido, necesidades de inventarios intermedios, ratios de utilización de las máquinas, flexibilidad, etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Requiere supervisión general.</li> <li>-Mayor nivel de especialización de operaciones.</li> <li>-Problemas con niveles de inventarios intermedios, WIP (work in process).</li> <li>-Menores ratios de utilización de máquinas que en la distribución según producto.</li> </ul>

### 3.4 Distribución de posición fija

En este tipo de distribución el producto (en virtud de su volumen o peso) permanece en un sitio. El equipo de fabricación se mueve hacia el producto y no viceversa. Los astilleros, la construcción de puentes y edificios son un ejemplo.

Las técnicas de localización de distribución de posición fija no han sido bien desarrolladas. La industria de la construcción y los astilleros han basado su distribución en base a la experiencia. Las diferentes subcontratas o departamentos que trabajan en ella cambian de posición durante el periodo de construcción y frecuentemente la localización de estos depende de la importancia de cada uno, por lo que hay una distribución más política que analítica.

La determinación de la distribución fija es complicada fundamentalmente por tres razones:

1. Hay limitación de espacio en virtualmente todos los sitios.
2. En las diferentes etapas del proceso de construcción las necesidades de materiales son diferentes, por lo tanto, diferentes elementos son críticos durante el desarrollo del proyecto.
3. El volumen de necesidades de materiales es dinámico. Por ejemplo, las necesidades de paneles de acero en la construcción de un barco cambia a lo largo del desarrollo del proyecto.

Es hasta tal punto dificultoso la distribución fija que se debe evitar siempre que sea posible. Por ejemplo en la aviación y también en los astilleros se intentan fabricar diferentes componentes de la construcción por separado para después ensamblarlos.

<b>Ventajas</b>	<b>Inconvenientes</b>
-Mínimo movimiento de material -Continuidad de operaciones (responsabilidad reducida).	-Gran movimiento de equipos y personal. -Duplicación de equipos.

-Muy alta flexibilidad. -Centros de producción independientes.	-Muy bajos ratios de utilización de los equipos.
---	--

### 3.5 Distribuciones reales

Las distribuciones reales constituyen una combinación entre los tipos clásicos, que nos permiten una clasificación rápida y sencilla del tipo de distribución que tengamos, aunque la línea de demarcación entre unas y otras no quede suficientemente clara.

Por lo general, una distribución lleva consigo una combinación entre los tipos clásicos de distribuciones, incluyendo modificaciones para aprovechar las ventajas de cada una de ellas en el lugar apropiado. De esta forma se reduce el coste de manipulación y la cantidad de material en proceso y se consigue una flexible y elevada utilización de la mano de obra y la maquinaria.

Una distribución buena, en cada caso particular, es la que mejor satisface nuestros objetivos (que pueden ser variables y con ellos la distribución). Por lo tanto, a veces, recurriremos a una distribución intermedia entre proceso y cadena.

Los siguientes criterios pueden servir de guía de cara a elegir la distribución adecuada:

- a. En principio, cada operación industrial simple implica una posición fija.
- b. Pero cuando aumenta la producción o número de operaciones es necesario una separación de operaciones.
- c. Cuando se avanza por el camino de la especialización y no existe movimiento de maquinaria deberá desplazarse el material o bien los hombres sobre posiciones fijas, efectuando cada uno de ellos una operación.
- d. Por lo general en los procesos de elaboración y tratamiento debe transportarse el material.



- e. Cuando existe diversidad de productos o tamaños se suele agrupar la maquinaria de un mismo tipo, la pieza puede ser asignada a cualquier máquina que esté libre y los trabajadores a cualquier máquina de grupo, es necesaria una distribución por proceso.
- f. Cuando existe variedad en los tiempos de operación como ocurre en elaboración y tratamiento por lotes, los equipos de manejo irán agrupados por función, o sea, distribución por proceso.
- g. Si existen pocas máquinas y éstas son costosas no se pueden tener máquinas paradas y adoptar una posición fija del material.
- h. Cantidades grandes y producto estandarizado implica una producción en cadena para elaboración, tratamiento y montaje.

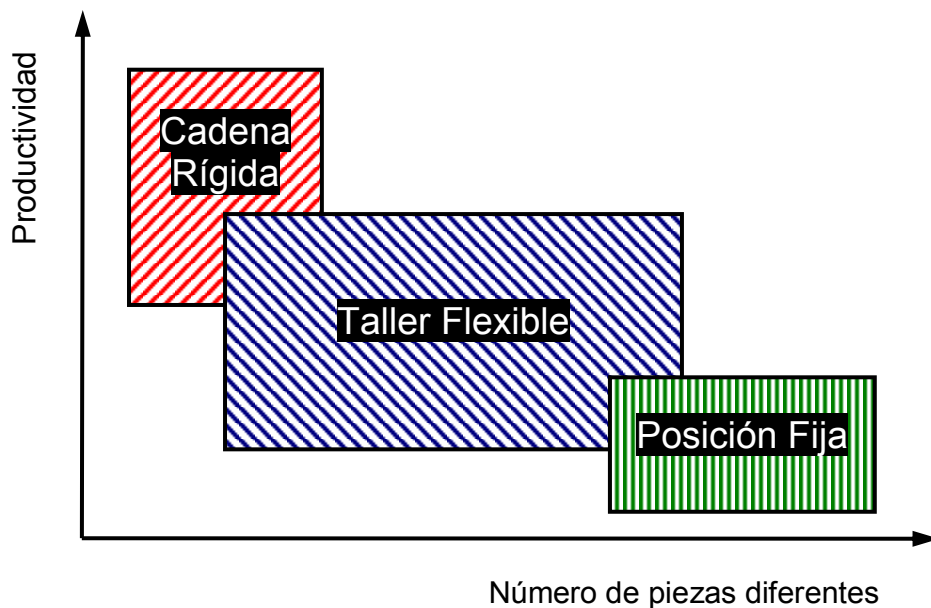


Figura 3.1: Gráfico de utilización de las diferentes tipologías de distribución

Si se tiene en cuenta la flexibilidad de un proceso de producción, frente a la productividad (figura 3.1) observamos que las líneas o cadenas transfer, son las más apropiadas para la fabricación de un gran número de piezas de las mismas características, constituyendo lo que se denomina un sistema de fabricación rígido. Se caracteriza por:

1. Fabricación de piezas siempre iguales.

2. Avance forzoso y en una única dirección.
3. Control síncrono.

Los sistemas flexibles por el contrario, se ajustan a la fabricación de piezas de series pequeñas, esto es, gran diversidad de lotes de dimensiones reducidas siendo las operaciones a realizar en proceso seleccionables. El taller flexible ofrece una amplia solución al dilema de productividad frente flexibilidad, ya que debe tenerse en cuenta que la mayoría de las series o lotes tienen un tamaño que correspondería a su rango de aplicación.

La fabricación flexible es un sistema de producción que permite conjugar altos índices de productividad y flexibilidad, y a la vez, abaratar costes y aumentar la calidad de los productos. Este sistema implica un relanzamiento de los lotes de fabricación y la variedad de los mismos. La tendencia actual es conseguir que todos los procesos sean automáticos y con control central.

### **3.6 Elección de la distribución**

En el momento de elegir o adoptar una solución, debe realizarse una distribución por posición fija, cuando:

- a. Sus operaciones de tratamiento y elaboración supongan máquinas o herramientas sencillas.
- b. Se fabrique una sola pieza o muy pocas de un artículo.
- c. El coste del traslado de la pieza mayor sea elevado.
- d. La efectividad es función de la habilidad.

La distribución se debe realizar por proceso, cuando:

- a. La maquinaria es cara o difícil de mover.
- b. En la fabricación de diversos productos.
- c. Si se tienen amplias variaciones en los tiempos requeridos por las diversas operaciones.
- d. La demanda de productos es intermitente o pequeña.

La distribución se efectuará en cadena, cuando:

- a. Existan grandes cantidades a fabricar.
- b. Si el diseño es normalizado.
- c. Si la demanda es estable y el equilibrado de operaciones y circulación de materiales puedan ser logrados sin dificultad.

Por tanto es posible concluir que, si la cantidad del producto es suficiente, lograr una distribución que permita la producción en cadena es el objetivo de la implantación, debido a las ventajas que se obtienen.

## 4. SYSTEMATIC LAYOUT PLANNING

### 4.1 Principios del Systematic Layout Planning

A lo largo de los años, el procedimiento más utilizado para diseñar distribuciones en planta ha sido el “*systematic layout planning*” (planificación sistemática de distribución) desarrollado por Muther. Conocido como SLP, el procedimiento ha sido aplicado a la producción, transporte, almacenamiento, servicios de apoyo, y actividades de oficina entre otros. El procedimiento SLP se describe en la *figura 4.2* de la página siguiente.

La metodología del SLP implica tres fases básicas: *búsqueda*, *análisis* y *selección*.

#### Fase de análisis

Se realiza una actividad de recopilación de información, tras esta actividad se realiza una actividad de análisis de esta información para la obtención del *diagrama de relaciones*.

#### Fase de búsqueda

Se deben combinar el *diagrama de relaciones* obtenido en la fase anterior con consideraciones de necesidades de espacio para la construcción del *diagrama de relaciones de espacio*. Basado en el *diagrama de relaciones de espacio* y teniendo en cuenta las modificaciones de las consideraciones iniciales y las limitaciones prácticas obtenemos un número de *diseños de distribución en planta alternativos*.

#### Fase de selección

En este paso se selecciona la distribución en planta más adecuada entre las distintas distribuciones alternativas.

En comparación con los pasos del proceso de diseño, vemos que el SLP comienza después de que el problema es formulado. Los primeros 5 pasos del SLP implican el análisis del problema. Del paso 6 al 9, incluyendo la generación de distribuciones alternativas, constituye la fase de búsqueda en el proceso de diseño. La fase de selección del diseño coincide con el paso 10 del SLP, en el que se evalúan las alternativas.

Desarrollo de una herramienta informática basada en el algoritmo CORELAP para la optimización de distribuciones en planta

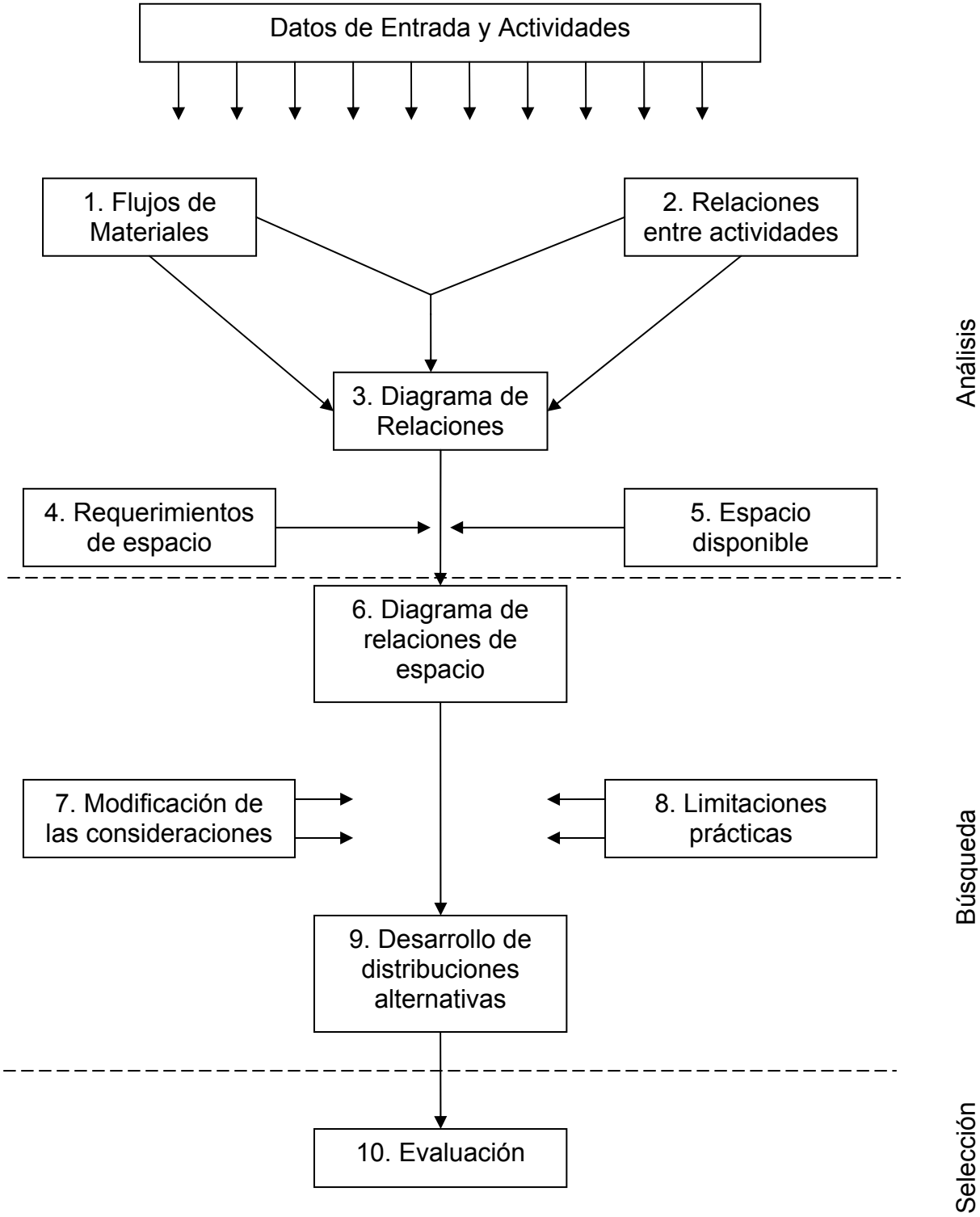
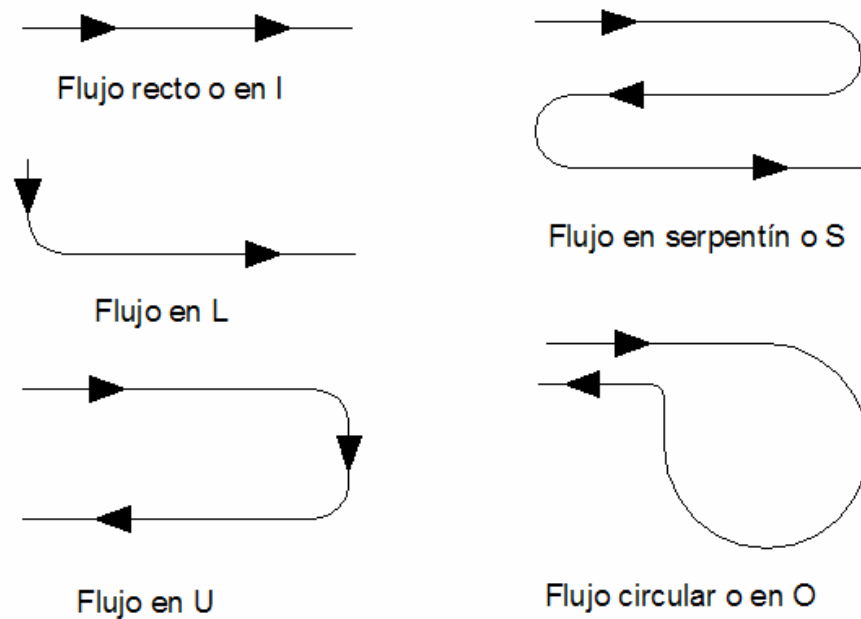


Figura 4.1: Procedimiento de Systematic Layout Planning

## 4.2 Tipos de flujo

Podemos clasificar los **flujos** de materiales en dos tipos, **horizontales y verticales**. Hay como mínimo cinco tipos básicos de flujo horizontal que se muestran en la *figura 4.2*:



*Figura 4.2: Flujos horizontales*

Otros tipos de flujos horizontales pueden ser desarrollados por la combinación de estos tipos básicos de flujo. El flujo en L es utilizado cuando el flujo recto no puede ser acomodado en la distribución existente o por motivos de costes. El flujo en U es muy popular porque permite administrar fácilmente las entradas y salidas de flujo. El flujo circular es aplicable cuando se desea que el flujo termine muy cerca del punto en que comienza el flujo. El flujo en serpentin es necesario cuando la línea de producción es tan larga que hace falta que esta haga zig-zag para caber en la planta.

Los flujos verticales se utilizan en empresas con un solo edificio o en el caso de utilización de varios edificios pero en todo caso este tipo de flujos son utilizados normalmente en estructuras multiplanta.

Los flujos verticales se pueden clasificar en seis tipos básicos que se recogen en la figura 4.3:

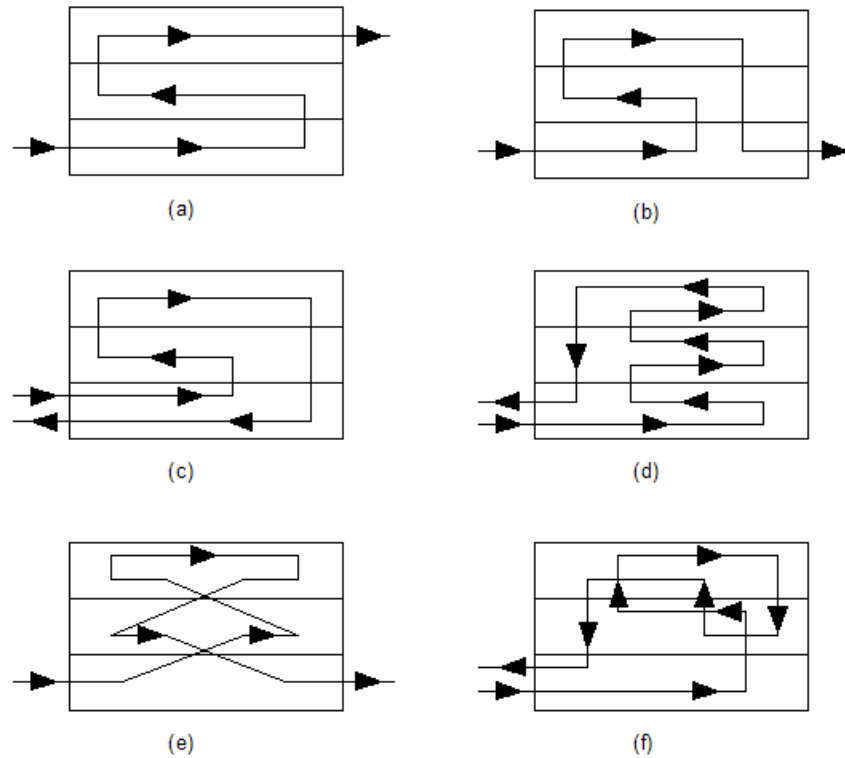


Figura 4.3: Flujos verticales

El flujo vertical tipo (a) es normalmente utilizado cuando hay flujo entre edificios que tienen una elevada conexión. El tipo (b) es utilizado cuando las entradas y salidas tienen lugar en la misma planta. El tipo (c) cuando además de que las entradas y salidas tengan lugar en la misma planta del edificio, éstas tienen lugar en el mismo lado del edificio. El tipo (d) cuando existe un sistema de elevación de materias entre plantas centralizado. Cuando existan cintas transportadoras o elevadores inclinados se recurrirá a un flujo tipo (e). Cuando es necesaria la vuelta a la planta precedente de la materia se utiliza un flujo tipo (f).

### 4.3 Relación entre actividades

El análisis de flujos trata de relacionar varias actividades con unas bases cuantitativas, como mención, las relaciones suelen expresarse como función del coste de material de transporte.

El gráfico de relación de actividades “*activity relationship chart*” o “*REL chart*”, ha sido diseñado para facilitar la consideración de factores cualitativos. Desarrollado por Muther, el gráfico de relaciones reemplaza los números por ratios cualitativos de proximidad.

En la *figura 4.4* se muestra un gráfico de relaciones típico. Todos los pares de relaciones son evaluadas con un ratio de proximidad (A, E, I, O, U, ó X). Cuando evaluamos la relación de actividades para N actividades hay  $N*(N-1)/2$  evaluaciones entre pares de actividades.

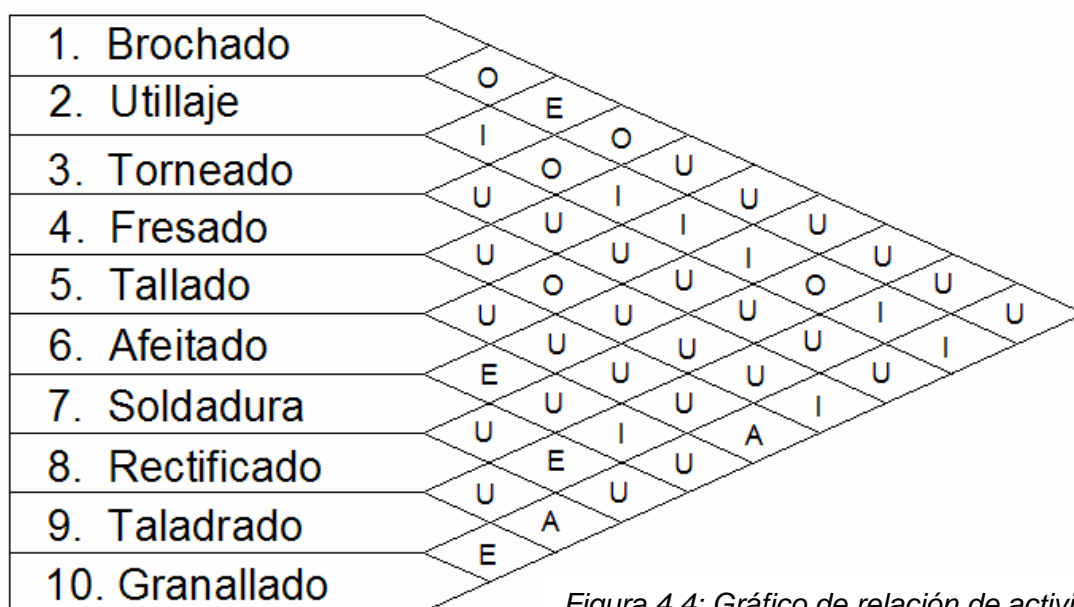


Figura 4.4: Gráfico de relación de actividades.

Ratio	Definición
A	Absolutamente necesario
E	Especialmente Importante
I	Importante
O	Normalmente proximidad OK
U	Sin importancia
X	Indeseable



Los ratios de proximidad representan un orden preferente de cercanía. Especialmente, el ratio A y el X son considerados los más importantes. Cualquier distribución debe satisfacer los ratios A y X. El ratio E es el segundo más importante, pero no todos los ratios E deben ser satisfechos por la distribución. El ratio I es el tercero en importancia, en la medida de lo posible este ratio debe ser satisfecho sin sacrificar los ratios A, X o E. En el mismo sentido el ratio O es el cuarto en importancia y sólo debe cumplirse si los ratios A, E, I y X no están en peligro. El ratio U es neutral, de aquí que pueda ser ignorado en el diseño de la distribución.

El proceso de desarrollo de las relaciones entre las actividades puede ser bastante útil, puede generar una idea de las preferencias, consideraciones del personal envuelto. Sin embargo, para ser más útil en el diseño de la distribución en planta, el ratio de proximidad debe reflejar un alto grado de discriminación. Como un ejemplo, muy pocas relaciones A y X deben ser asignadas. Una buena regla es no permitir más de un 5% de ratios de proximidad A y X, no más de un 10% de E, no más de un 15% de I y no más de un 20% de O. Por lo tanto al menos un 50% de los ratios deben de ser U si seguimos esta regla.

Las distribuciones en planta se desarrollan generalmente usando un procedimiento jerárquico. A saber, las distribuciones en planta se desarrollan primero determinando el tamaño, forma y disposición relativa de los departamentos u otras actividades.

En el caso de una distribución en planta el gráfico de relación de actividades se construye como sigue:

1. Crear una lista de todos los departamentos o actividades a incluir.
2. Obtener los ratios de proximidad por entrevista de personas con experiencia o relacionada con cada una de las actividades.
3. Determinar las razones usadas para la determinación de cada valor de los ratios de proximidad.
4. Relacionar el valor de cada ratio con la razón de ese valor.

5. Revisar el gráfico de relaciones y hacer los ajustes apropiados en los ratios.

#### 4.4 Diagrama de relaciones

El propósito del diagrama de relaciones es describir las relaciones de actividades en el espacio. Un ejemplo de diagrama de relaciones es la *figura 4.5*:

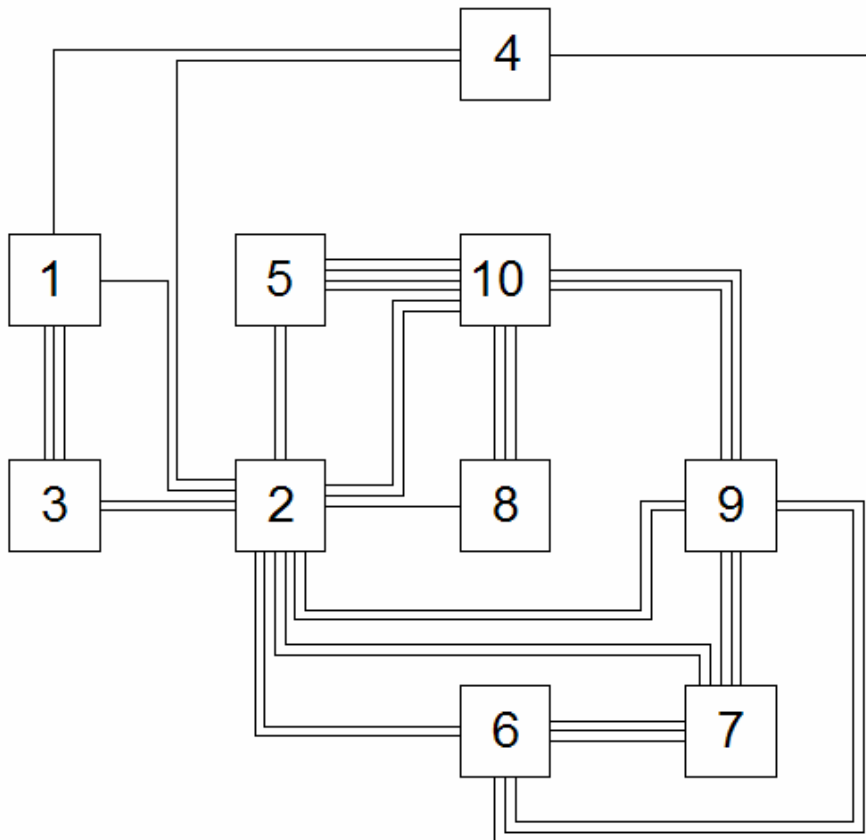


Figura 4.5: Diagrama de relaciones

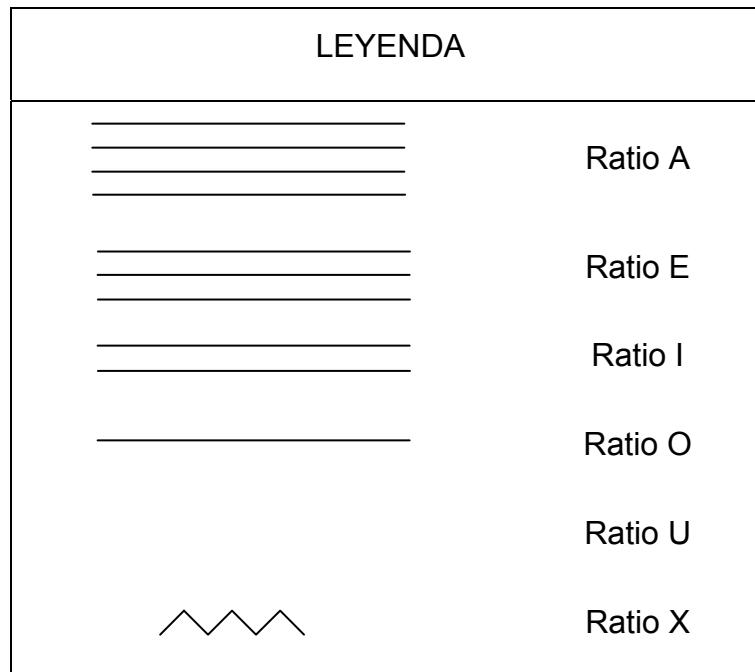


Figura 4.5.1: Leyenda del diagrama de relaciones

El proceso de construcción del diagrama de relaciones suele requerir compromisos, especialmente cuando no todos los ratios de proximidad pueden ser satisfechos. Tradicionalmente, este diagrama ha consistido en un proceso manual de “cortar e intentar” en que cuadrados del mismo tamaño eran utilizados para representar las actividades. En cada iteración los cuadrados eran desplazados hasta que el diseñador consideraba que los ratios de proximidad se cumplían adecuadamente.

#### 4.5 Necesidades de espacio y disponibilidad

Una vez considerado el flujo de materiales y la relación entre actividades, y ha sido construido el diagrama de relaciones apropiado, se está en condiciones de evaluar el espacio requerido para la distribución en planta. De forma ideal, se querría desarrollar la distribución en planta y entorno a él diseñar el edificio. Sin embargo, desde un punto de vista práctico, se suele buscar una solución compatible a las condiciones de espacio disponible. La restricción puede estar

en la forma del edificio existente, en una limitación de tamaño del edificio o en el capital para nuevas construcciones. Por esta razón, se debe considerar no solo las necesidades de espacio sino también la disponibilidad.

Una de los mayores determinantes de cantidad de espacio requerida es la tasa de producción deseada. La tasa de producción ha sido utilizada en nuestro análisis del volumen-variedad que nos ha guiado a elegir una distribución por producto o por proceso.

La tasa de producción se determina trasladando previsiones de marketing al ámbito de las cantidades de producción requeridas. Y estas previsiones afectan a la distribución en planta de forma muy clara, en el sentido en que cuanto mayor sea la demanda prevista más número de máquinas deberán disponerse, y también la variedad de productos prevista va a influir en la disposición de las máquinas para que la distribución sea más flexible, y también influirá en las especificaciones técnicas de las máquinas.

Una vez se sepa cuantas máquinas se van a utilizar y el número de estas que va a gestionar cada operario, se puede determinar el espacio requerido por el equipamiento.

Algunos de los métodos de determinación de espacio utilizados normalmente se mencionan a continuación:

1. Método del centro de producción. Este método consiste en considerar las máquinas por tipos más todos los equipamientos asociados y todo el espacio requerido para sus operaciones. Al espacio de trabajo a los lados de la máquina se le suman además el espacio necesario para el mantenimiento y almacenamiento. El espacio total requerido es la multiplicación del número de máquinas similares por el espacio requerido de cada máquina.
2. Método de conversión. Utilizando este método, las necesidades de espacio de la distribución en planta objeto, son función de las necesidades de espacio que se tienen en la actualidad en una distribución en planta de base con una producción diferente. Hay que tener mucha precaución al aplicar este método en los conceptos que se

asumen como ciertos. Recordar que el total de espacio requerido no es una función lineal respecto a la producción. Simplemente porque la producción sea doble no necesariamente las necesidades de espacio son dobles. Este método es utilizado normalmente para determinar el espacio necesario en áreas de almacenamiento y departamentos de apoyo, donde el método del centro de producción es utilizado para determinar el espacio requerido para las áreas de producción.

3. Método por el que las plantillas o modelos son colocadas en la distribución para obtener una estimación de la configuración general y de las exigencias espaciales.
4. Método del espacio estándar. En ciertos casos los estándares industriales pueden ser utilizados para determinar las necesidades de espacio. Además, los estándares pueden ser establecidos en pasadas aplicaciones exitosas. El uso de estándares semejantes sin una comprensión de sus asunciones subyacentes es peligroso. Semejantes estándares adoptados por otros pueden ser estrechamente estudiados y comparados con la presente distribución.
5. Ratio de tendencia y método de proyección. Este método está limitado a las necesidades generales de espacio. Es probablemente el menos exacto de los métodos presentados. Para usar este método, uno establece un ratio de pie cuadrado para algunos factores que pueden ser medidos y predichos para la distribución propuesta. Ejemplos de estos ratios son el pie cuadrado por hora directa trabajada, pie cuadrado por unidad producida y pie cuadrado por supervisor.

#### **4.6 Diseño de la distribución**

Habiendo analizado el flujo de materiales y las relaciones entre actividades, determinado las necesidades de espacio, hecho las asignaciones a actividades, se pueden diseñar las distribuciones alternativas. En términos de las fases del proceso de diseño, se ha completado la fase de análisis y ha comenzado la fase de búsqueda. El número de distribuciones alternativas

deben ser diseñadas, basadas en el análisis de flujos, relaciones entre actividades y necesidades de espacio.

La consideración del diseño de la distribución del proceso incluye el diseño del espacio del diagrama de relaciones, plano de bloques y distribución detallada; el diseño de distribuciones flexibles; el diseño de manejo de materiales; y la presentación del diseño de la distribución.

#### 4.6.1 Diseño del Diagrama de Espacio de Relaciones, el Plano de Bloque y Distribución en Planta Detallada

La distribución general es diseñada primero combinando las consideraciones de espacio con el diagrama de relaciones entre actividades. Siguiendo el acercamiento del SLP, el impacto de las necesidades de espacio se manifiesta en el diseño del diagrama de relaciones de espacio. Manteniendo las mismas relaciones entre actividades que en el diagrama de relación entre actividades, el diagrama de relación de espacio se construye remplazando las unidades cuadradas por unidades a escala representativas de la realidad.

Para cada actividad, se construye una plantilla espacial, para la escala que represente el tamaño y la forma de la actividad. Desde diferentes formas puede tenerse el mismo área, esto es posible para construir diferentes diagramas de relaciones de espacio para el mismo diagrama de relación entre actividades.

Después de construir el diagrama de relación de espacios, las plantillas de espacio son modificadas y ajustadas y las posiciones relativas de las actividades son cambiadas necesariamente para acomodar a las limitaciones prácticas y otras consideraciones. El plan de bloque resultante está entonces construido.

El plan de bloque es una representación escalada esquemática del edificio y normalmente muestra las posiciones internas y columnas. La distribución detallada de maquinaria y componentes está normalmente incluida en el plano de bloque.

Una vez que un número de planos de bloque han sido generados, el diseñador debe de elegir el plan de bloque antes de que se de el paso de la

selección. También, la elección depende de la situación y de la cultura de la organización. Si somos libres de elegir, se deben estrechar las alternativas del plan de bloques antes de obtener el plan de detalle final. Habrá al menos tantas alternativas de diseño de detalle de cada departamento como de bloques de plano. Si no se realiza la selección secuencial el número de alternativas será menor.

#### 4.6.2 Diseño de las distribuciones flexibles

En el diseño tanto de la distribución total como de la distribución parcial, debemos recordar considerar la posibilidad de futuras expansiones, futuras compresiones y otro tipo de cambios. Es extremadamente importante que la distribución sea suficientemente importante para poder realizar cambios en el diseño del producto, diseño del proceso y diseño del programa. En general, los estudios de distribución resultan de los cambios que ocurren en los requisitos de espacio, equipos y gente.

La mejor manera de alcanzar una distribución flexible es anticipar los cambios que pueden ocurrir. Por ejemplo, anticipar el tipo de expansiones que pueden tener lugar. Hay básicamente dos tipos de expansión: expansión en los tamaños de las actividades existentes e incremento del número de actividades realizadas.

#### 4.6.3 Diseño del Sistema de Tratamiento de Materiales

Una distribución en planta detallada no debe ser diseñada sin tener en cuenta consideraciones de las necesidades del tratamiento de materiales. La elección del método de tratamiento y equipamiento es una parte integral del diseño de la distribución. Es extremadamente importante incorporar métodos de tratamientos de materiales efectivos en la distribución. El tratamiento de materiales implica, movimiento, almacenamiento y control del material. Un punto de vista de los sistemas de manejo de materiales sería el siguiente: *proporcionar la cantidad correcta de material en el lugar correcto, en el momento oportuno, en la secuencia correcta, en la posición correcta, en las*

*condiciones correctas, en la orientación correcta, con el coste correcto y usando el método correcto.*

El diseño de sistemas de manejo de materiales sigue básicamente la misma secuencia de pasos reseñados para el diseño de distribuciones en planta. Varias de las herramientas que hemos empleado en el análisis de problemas de distribución son normalmente utilizadas en el análisis de manejo de materiales. Algunas veces la fase de búsqueda del proceso de diseño requiere un gran grado de familiaridad con los tipos, capacidades, limitaciones, y costes de los equipos de manejo de materiales.

Para objetivos de diseño de distribuciones es importante que el sistema de manejo de materiales sea diseñado en paralelo con la distribución.

#### 4.6.4 Presentación del diseño de la distribución

En este punto, se debería haber generado un número de diseños alternativos de componentes, de diseños generales o de planos de detalle alternativos en la fase del diseño del proceso. Pero ¿cómo son presentados?:

Básicamente, hay tres métodos de visualizar la representación de distribuciones:

1. Dibujos o bosquejos.
2. Modelos por iconos en dos dimensiones.
3. Modelos por iconos en tres dimensiones.

Los dibujos y bosquejos tienen la ventaja de ser fáciles de realizar. La mayor desventaja de los dibujos manuales es su falta de flexibilidad. Si hay un cambio en el diseño toda la distribución debe ser redibujada. Cuando probablemente va a haber cambios es recomendable la utilización de ordenadores. Así la modificación de la distribución sólo implicaría la modificación de un archivo informático y su posterior impresión.

Los modelos por iconos en dos dimensiones, normalmente llamadas plantillas, son el método más común de presentación de diseños de distribución en planta. Sin embargo, tanto con los dibujos y modelos como con las plantillas los sistemas de representación gráfica CAD tienen una gran importancia. Las



plantillas pueden ser creadas para representar maquinas individuales, puestos de trabajo individuales, grupos de máquinas, e incluso departamentos. Cuando las plantillas necesarias han sido creadas y almacenadas en el ordenador, el diseñador de la distribución puede crear varias alternativas rápidamente usando los sistemas CAD.

Los modelos en tres dimensiones a escala pueden también ser creados físicamente o por medio de un ordenador.

#### 4.7 Selección, Especificación, Implementación y Seguimiento

Ahora que los diseños de distribución alternativos han sido preparados, se debe elegir aquella que mejor cumple los objetivos. La selección de la mejor distribución normalmente implica la selección del diseño que de forma más favorable cumpla todos los objetivos. Entre estos objetivos está la minimización de costes.

Si los costes suponen una importante consideración en la evaluación de distribuciones alternativas, es necesario que los costes más importantes sean cuantificados. Esto no es fácil por muchas razones. Primero, interesan los costes incrementales en lugar de costes estándar. Segundo, interesan los costes futuros en lugar de costes pasados o presentes. Además, en el caso de una nueva distribución no se tiene ninguna experiencia previa en la que podemos basar nuestras estimaciones de costes futuros.

Muchas veces los costes no son la consideración más importante en la evaluación del diseño de la distribución. Normalmente, un número de distribuciones alternativas van a tener aproximadamente el mismo coste, y otras consideraciones se usan en la elección del diseño:

1. Minimizar la inversión en equipos.
2. Minimizar el tiempo de producción general.
3. Utilizar el espacio existente de forma más eficiente.
4. Proporcionar a los empleados el conveniente confort y seguridad.
5. Mantener la flexibilidad de arreglo y operación.
6. Minimizar el coste de manejo de materiales.

7. Minimizar variaciones en los tipos de equipos de manejo de materiales.
8. Facilitar el proceso de fabricación.
9. Facilitar la estructura de la organización.

Aunque en la fase de diseño ya se han discutido los pasos del desarrollo, es necesario tener en cuenta otro factor. Este factor, es que una vez que el diseño es elegido debe ser vendido, mostrado para su aceptación. Consecuentemente, es prudente en este punto considerar la cantidad de resistencia al cambio que puede acompañar cada diseño. Por lo tanto, debería esforzarse en reducir tal resistencia y prever la cantidad de resistencia que encontrará cada alternativa.

Asumiendo que la distribución ha sido aceptada por las personas apropiadas de la organización, debe ser instalada. Cuando se instala la distribución es importante recordar que una considerable cantidad de planificación debe preceder a la instalación de equipos y acondicionamiento de locales. Una vez que se hacen los planos todas las actividades deben ser programadas. La instalación de la distribución puede involucrar gran número de actividades, y un modelo de programación de proyectos como el método del camino crítico (CPM), puede ser bastante útil.

Una vez que la distribución ha sido instalada, debe de realizarse un seguimiento para comprobar que se cumplen los requisitos de diseño.

## 5. GENERACIÓN DE LAYOUTS POR COMPUTADOR

### 5.1 Métodos de generación de Layouts

Se entiende por *Métodos Analíticos de Generación de Layouts* (MGL) el conjunto de técnicas que permiten obtener un abanico de alternativas que ayuden al proyectista en la búsqueda de una solución para el diseño general de una implantación.

La mayoría de esos métodos se basan en la utilización de la metodología SLP (véase sección anterior) para la obtención de la información preliminar necesaria para su desarrollo.

Los MGL consiguen la ordenación topológica de los elementos que intervienen en un problema de implantación, pero es difícil conseguir un control geométrico aceptable para su aplicación en un planteamiento de detalle. En general habrá que hacer pequeños retoques finales.

Estos métodos pueden clasificarse, atendiendo a los algoritmos utilizados en su desarrollo, en métodos de construcción de Layouts (MCL) y en métodos de mejora de Layouts (MML). Los métodos de construcción generan soluciones por síntesis de la información de acuerdo con la heurística propia del método; los de mejora, partiendo de una solución inicial, tratan de superarla siguiendo criterios generalmente de índole económica y relacionados con la manutención y el transporte.

Los MCL parten de la Tabla Relacional de Actividades del SLP y tienen su mayor aplicación en aquellos casos en los que las relaciones dadas para los servicios anexos (medios auxiliares de producción) constituyen un factor de peso en la implantación, pudiendo o no tener importancia el recorrido de los productos. En estos casos la TRA acumula la información relativa a las relaciones entre actividades, recorrido de productos y servicios anexos.

Los MML se basan en el tráfico de materiales y en el recorrido de los productos, tratando de optimizar una función asociada a los costes de transporte y manutención de los mismos. Los servicios anexos, en estos casos, no constituyen un factor básico en la implantación.

Dado que la tabla relacional de actividades tiene un carácter cualitativo y ya que el tráfico de materiales puede ser cuantificado, a los MCL también se les denomina métodos cualitativos o de construcción de Layouts, y a los MML métodos cuantitativos o de mejora de Layouts.

Se ha de observar que la mayoría de los casos reales son intermedios entre las dos situaciones límites antes descritas y por tanto no se ajustan a las hipótesis de partida asumidas por los procedimientos descritos. Pero también es cierto que los métodos analíticos de generación de layouts constituyen una herramienta al servicio del proyectista que le permitirá analizar un mismo problema desde ópticas distintas y confrontar resultados en el proceso de búsqueda de una solución.

## 5.2 Evolución histórica

Los trabajos de investigación sobre "*Generación de Implantaciones con la ayuda del Ordenador*", se han desarrollado, con criterios, métodos y resultados muy diferentes, desde principios de los años sesenta hasta el presente.

Anteriormente a esta década es cuando se toma conciencia de la importancia de organizar metodológicamente el problema de la Distribución en Planta, especialmente en los años 1940-1950. Muchas industrias tuvieron que reorganizar sus sistemas de fabricación para una producción de guerra, y seguidamente adaptarlos a un período de paz y una economía desarrollista, en la que velozmente se ha de abandonar las líneas de fabricación de ciertos productos y utilizar estos equipos y el mismo espacio que los albergaba para producir otros bienes.

Este momento marca un hito en el diseño de Plantas Industriales. A partir de entonces el problema de distribución en Planta dejaría de basarse únicamente en la propia experiencia del diseñador, pasando a conformar un conjunto de métodos y técnicas que suministran diferentes alternativas, que el proyectista-diseñador debe estudiar, y modificar hasta seleccionar la más adecuada a su problema de implantación.

Actualmente el problema se aborda desde un punto de vista multidisciplinar y sistemático. Sin embargo, los Métodos de Generación de Layouts (MGL), por el momento, sólo consiguen ordenar topológicamente los elementos (Actividades) que intervienen en el problema de implantación, y no permiten un control geométrico aceptable (control de la forma) en el desarrollo de la solución definitiva. Es de esperar que la cada vez mayor aplicación a estas técnicas de los modeladores geométricos permita obtener todas las ventajas que poseen los métodos de generación de layouts por computador.

### 5.2.1 Desarrollos

El primer programa para la realización de distribuciones en Planta, por medio de ordenador aparece en 1963, con el nombre de **CRAFT** (Computerized Relative Allocation of Facilities Techniques). En su primer momento fue presentado por Armour y Buffa y posteriormente verificado y perfeccionado por Armour, Buffa y Vollman (1967). El algoritmo empleado minimiza el coste de manejo de materiales asociado a la distribución en planta, partiendo de un layout inicial e intentando, mediante intercambios sucesivos de parejas de actividades, reducir el coste de transporte.

El algoritmo anterior pertenece al grupo de los denominados de mejora, debido a que, tomando como origen una solución inicial, ficticia o real, tratan de perfeccionarla según criterios de minimización de coste, siendo éste asociado, generalmente, al coste de transporte, manejo de materiales, ocupación, etc.

Posteriormente, y dentro de los métodos de mejora de Layout, Tompkins y Reed, desarrollaron el **COPAD** (Computerized Facilities Technique), ya en el año 1976, empleando fundamentalmente los mismos principios que en el CRAFT. Básicamente es un desarrollo de éste, que considera conjuntamente el layout y el sistema de manejo de materiales empleado, con lo que permite reflejar en el programa los diferentes tipos de equipamiento de transporte susceptibles de ser empleados.

El segundo grupo en el que se clasifican estos programas lo constituyen los métodos de construcción de layout, por no precisar de una solución inicial.

Estos métodos obtienen una serie de soluciones aplicando algoritmos de ordenación geométrica en función de la información considerada. Se basan en la sucesiva selección y emplazamiento de las actividades a ubicar, según se valore y pondere las relaciones de proximidad entre las actividades, hasta que se finalice la confección del layout.

Dentro de este tipo, el primer programa desarrollado fue el **ALDEP**, por Seehof y Evans en 1967. En ese mismo año, Lee y Moore, expusieron el **CORELAP** (Computerized Relationship Layout Planning). Más tarde Sepponen introdujo valiosas modificaciones en estos programas, basadas en la mejora de los algoritmos de asignación.

Las técnicas de construcción parten de la Tabla Relacional de Actividades, propuesta por Richard Muther en la que se indican las relaciones de proximidad entre las distintas actividades a ubicar. Conociendo las áreas de cada actividad y la tabla citada, se establece el orden en que se va a proceder a la ubicación de las diferentes actividades que forman la planta.

El programa ALDEP es básicamente un programa de construcción, aunque debido al proceso de evaluación empleado en la aceptación y rechazo de un layout puede considerarse también como un programa de mejora. Este programa construye un layout sin la necesidad de la existencia de uno previo, pero también compara las soluciones obtenidas de forma análoga a como lo hace uno de mejora. El CORELAP se diferencia del ALDEP, en que mientras en éste es necesario definir el entrono del edificio o de la planta, en el CORELAP es libre.

Entre los programas de construcción, aparte del ALDEP y el CORELAP, también cabe citar el **CSP** y el **PLANET**, entre otros. Este último (Plant Layout And Evaluation Technique), desarrollado por Deisenroth y Apple en 1972, utiliza los mismos datos de partida que el CRAFT, y puesto que éste es de mejora, puede emplearse, complementariamente, para evaluar, y optimizar un layout ya realizado mediante el programa PLANET.

Otro método de construcción también utilizado para la mejora de distribuciones es el **BLOCPLAN** desarrollado por Donaghey y Pire. Utiliza la

tabla de flujos entre departamentos para obtener el gráfico de relaciones entre departamentos. Utiliza las distancias o también adyacencias entre departamentos. El máximo número de departamentos que admite son 18. Los valores más apropiados para los coeficientes de proximidad son A=10; E=5; I=2; O=1; U=0; X=-10.

**MULTIPLE** es un método de mejora por evaluación multi-niveles desarrollado por Bozer, Meller y Erlebacher. Utiliza como datos de partida la tabla de flujos entre departamentos. La función objetivo es función de la distancia entre los departamentos, que son considerados elementos discretos. Utiliza curvas de relleno de espacio en la búsqueda de la distribución objetivo.

Entrada \ Tipo	Tipo	Construcción	Mejora
Cuantitativa		PLANET	CRAFT COFAD MULTIPLE
Cualitativa		CORELAP ALDEP PLANET CSP BLOCPAN	ALDEP BLOCPAN

*Figura 5.1 Tabla con clasificación de los distintos algoritmos*

### 5.3 Ubicación de actividades

La solución al problema de ubicación de actividades puede ser abordada generalmente, de dos formas completamente distintas:

1. Análisis del problema matemáticamente.
2. Búsqueda de una solución por métodos heurísticos.

El enfoque matemático se trata mediante muy variadas técnicas, con soluciones que se basan en el problema de la asignación cuadrática resultado desde técnicas de “*Branch and Bound*” (ramificación y poda), pasando por otros muchos de los recursos propios de la investigación operativa. Estos métodos utilizan la capacidad de cálculo del ordenador para obtener, tras todas las iteraciones que sean necesarias, los resultados buscados.

Sin embargo, los métodos heurísticos buscan soluciones al problema sin pretender obtener ni una solución exacta, ni el óptimo real; basta con obtener soluciones que se acerquen al óptimo, cometiendo un error menor que el margen definido o establecido como admisible. Por su naturaleza, estos últimos, al desarrollar estrategias de búsqueda para encontrar las soluciones, son la elección adecuada para aplicarlos sobre ordenadores personales, si no se dispone de otros sistemas más potentes de cálculo. Esto es así, ya que los algoritmos pueden ser ajustados a la capacidad del sistema, frente a aquellos que utilizan metodologías más exactas.

En general, los algoritmos heurísticos colocan actividades o secciones en una superficie previamente descompuesta en cuadrículas (malla). La ubicación viene determinada según criterios de valoración entre la relación de actividades y el estado actual de la malla (zona descompuesta). La actividad que tiene mayor importancia pasa a ubicarse en la malla, influyendo a su vez, las actividades previamente ubicadas respecto a las que van a ubicarse. La ventaja de estas técnicas es la gran variedad de posibilidades que ofrecen según el enfoque aplicado en su elaboración.



## 5.4 Métodos de construcción

Las metodologías que se han mostrado más eficaces para el desarrollo de programas de generación de layouts, por construcción, corresponde a los algoritmos empleados por los programas ALDEP, CORELAP

### 5.4.1 ALDEP

El programa ALDEP creado en 1967 (Automated Layout Design Procedure) procedimiento de diseño automatizado de distribución en planta fue el primer modelo para múltiples plantas.

Es un procedimiento constructivo que calcula el ratio total de proximidad (TCR del inglés *total closeness rating*) para cada departamento. El TCR es la suma de valores numéricos asignados a las relaciones de proximidad en el gráfico de relaciones por medio de los coeficientes A, E, I, O, U, X, tal como se explicó en el sistema SLP en el apartado anterior. Estos pesos numéricos son llamados *Closeness Rating* (CR) "Necesidades de proximidad".

Pasos para la selección de los departamentos:

1. Selección de la primera actividad entrante, de forma aleatoria. Esta entrará en un contorno definido, siguiendo un ancho de banda o dimensión de avance predeterminado.
2. La segunda actividad entrante es aquella que tiene un mayor TCR con la actividad elegida anteriormente. En caso de no haber ninguna relacionada, se escoge una aleatoriamente, que se ubica siguiendo un orden de avance establecido y con el ancho de banda del punto anterior.
3. Se repiten los pasos anteriores hasta que todos los departamentos son seleccionados.

Procedimiento de emplazamiento:

1. Colocar el primer departamento en la esquina superior izquierda y extenderla hacia abajo. La anchura de la extensión está determinada por la anchura disponible.



- a. Mayor TCR
  - b. Mayor área de departamento
  - c. Número más bajo de departamento (aleatorio).
3. Paso iterativo
- a. Se selecciona el departamento con el mayor ratio de proximidad con los ya colocados.
  - b. Ver casos de empate.

Proceso de colocación:

1. El primer departamento se sitúa en el centro.
2. Para los siguientes departamentos en ser colocados:
  - a. Se evalúan todas las posibles situaciones.
  - b. Para cada combinación se calcula
    - i. Ratio de colocación usando el CR y la longitud de borde (se computa un promedio de ambos valores como ratio).
    - ii. Se escoge el ratio de colocación más alto.
    - iii. Se rompen los empates por el menor contacto de borde.

Evaluación:

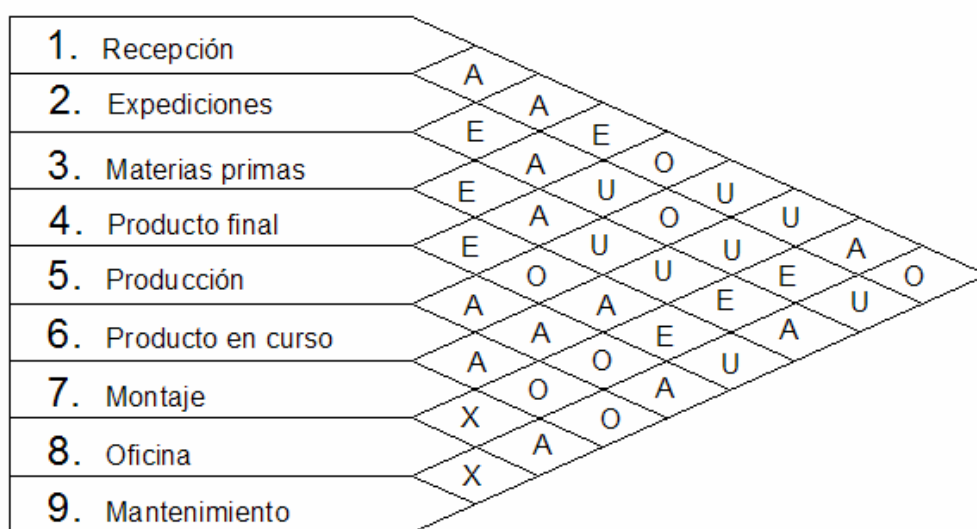
- La evaluación del Layout se realizará mediante puntuación basada en la adyacencia.
- El índice es el sumatorio de las adyacencias producidas por el valor de su CR.

## 5.5 Aplicación de los algoritmos computacionales de construcción

### 5.5.1 Aplicación del algoritmo ALDEP

A continuación se expone un ejemplo del funcionamiento teórico del algoritmo ALDEP.

Datos del ejemplo:



Dimensiones de los departamentos:	
1	50 m <sup>2</sup>
2	60 m <sup>2</sup>
3	50 m <sup>2</sup>
4	70 m <sup>2</sup>
5	90 m <sup>2</sup>
6	50 m <sup>2</sup>
7	70 m <sup>2</sup>
8	30 m <sup>2</sup>
9	50 m <sup>2</sup>

Valores de los coeficientes:
V(A)=125
V(E)=25
V(I)=5
V(O)=1
V(U)=0
V(X)=-125

Figura 5.3: Gráfico de relación de actividades y datos del ejemplo

El algoritmo ALDEP, explicado en la sección anterior, tiene un diagrama lógico de funcionamiento tal y como el que se muestra en la siguiente figura:

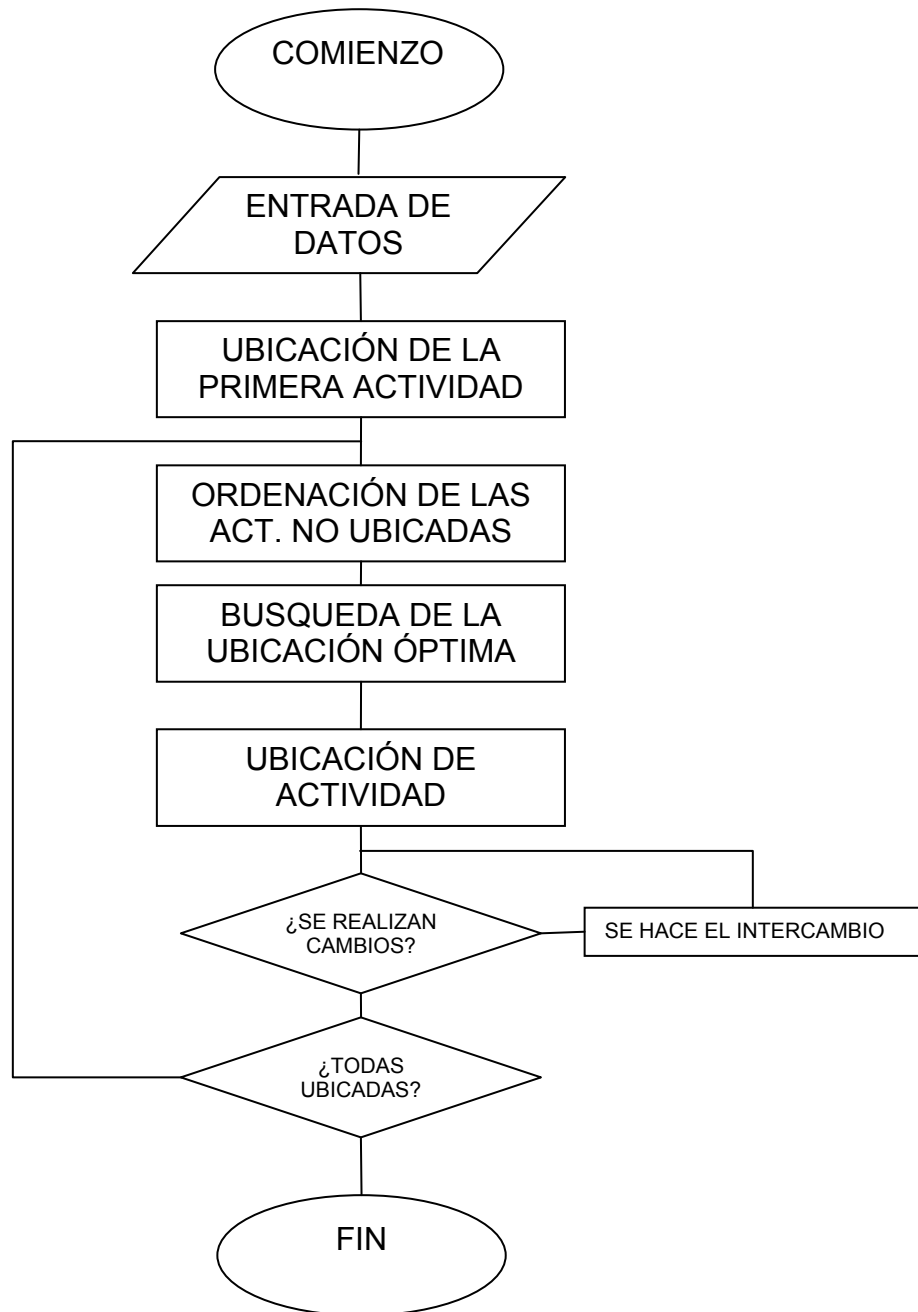


Figura 5.4: Diagrama lógico de funcionamiento del algoritmo ALDEP.

## Iteraciones para la colocación de los departamentos

### Primera iteración “Ubicación del primer departamento”

En el primer paso del algoritmo se deberá elegir aleatoriamente un departamento entre todos aquellos a colocar en el layout para ser colocado en primer lugar.

En este caso se elige el departamento 3 de forma aleatoria para ser colocado en primer lugar y tiene una dimensión de  $50\text{m}^2$ .

Se decide elegir un ancho de bando o dimensión de avance de 5 metros.

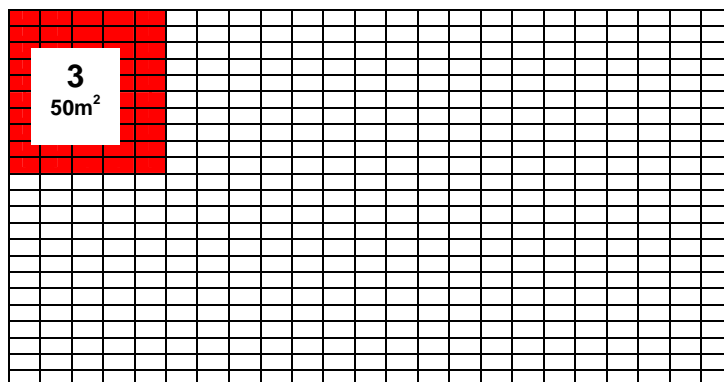


Figura 5.5: Layout resultante tras primera iteración del algoritmo ALDEP.

### Segunda iteración “Ubicación del segundo departamento”

A partir de esta iteración el siguiente departamento en ser colocado será aquel que tenga más afinidad con el último departamento colocado.

Por lo tanto el segundo departamento en ser colocado será el que tenga más afinidad con el departamento 3. En caso de empate a nivel de afinidad, el siguiente departamento en ser colocado se elegirá aleatoriamente.

En este caso los siguientes departamentos candidatos para ser colocados en el layout serían el 1 (recepción), 5 (producción) y el 9 (mantenimiento), ya que todos tienen una A como nivel de afinidad con el departamento 3. Se elige el 5 de forma aleatoria. Ver figura 5.6.

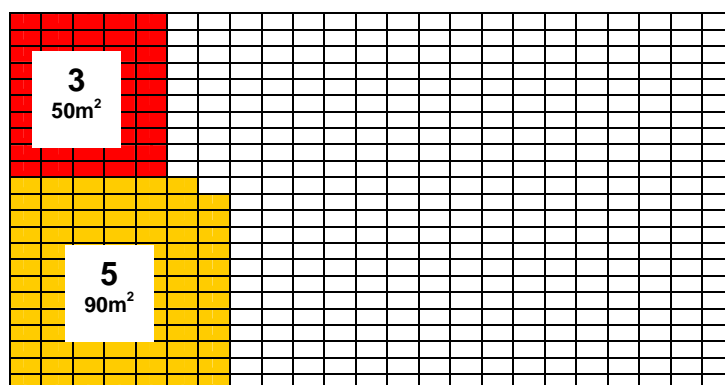


Figura 5.6: Layout resultante tras segunda iteración del algoritmo ALDEP.

### Tercera iteración “Ubicación del tercer departamento”

El siguiente departamento en colocarse será aquel que tenga más afinidad con el último en ser colocado, el departamento 5 (producción).

De todos los departamentos que son afines con una A al departamento 5 (producción) se elige aleatoriamente el departamento 6 (Producto en curso) para ser ubicado.

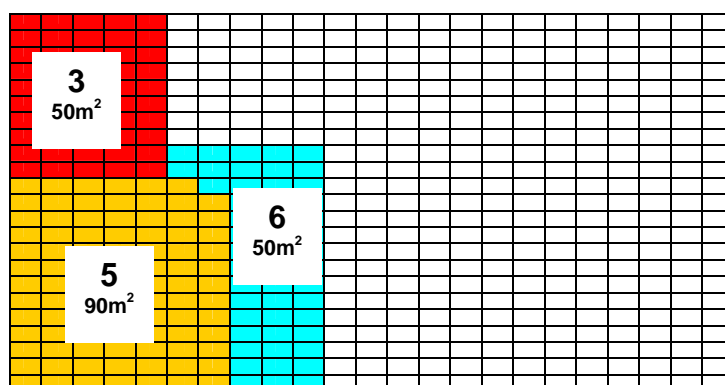


Figura 5.7: Layout resultante tras tercera iteración del algoritmo ALDEP.

### Cuarta iteración “Ubicación del cuarto departamento”

En las siguientes iteraciones el siguiente departamento en ser colocado será aquel que tenga más afinidad con el último en ser colocado, tal y como se ha hecho en las dos iteraciones anteriores. Como se indicó a igualdad de

afinidad el departamento a ubicar se elegirá de forma aleatoria. En las siguientes figuras se muestran las iteraciones sucesivas.

Se coloca el departamento 7 (montaje).

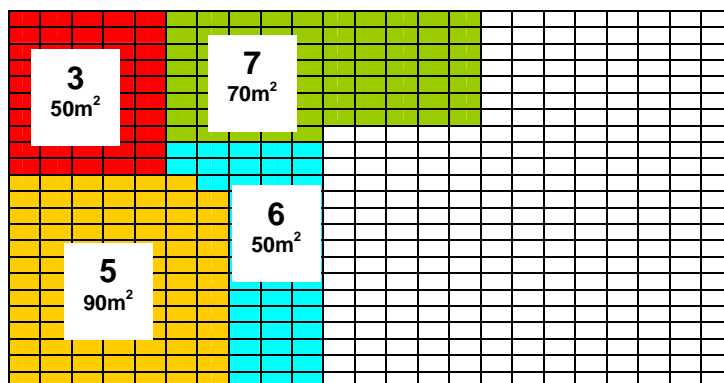


Figura 5.8: Layout resultante tras cuarta iteración del algoritmo ALDEP.

#### Sucesivas iteraciones “Ubicación de los restantes departamentos”

Iteración 5: Se coloca el departamento 9 (mantenimiento).

Iteración 6: Se coloca el departamento 1 (recepción).

Iteración 7: Se coloca el departamento 2 (expediciones).

Iteración 8: Se coloca el departamento 8 (oficinas).

Iteración 9: Se coloca el departamento 4 (producto final).

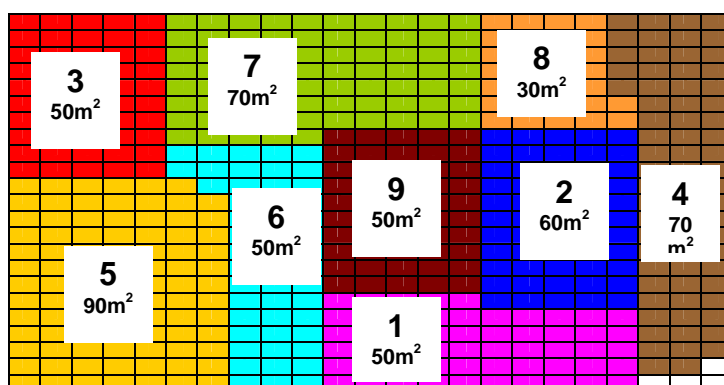


Figura 5.9: Layout resultante tras todas las iteraciones del algoritmo ALDEP

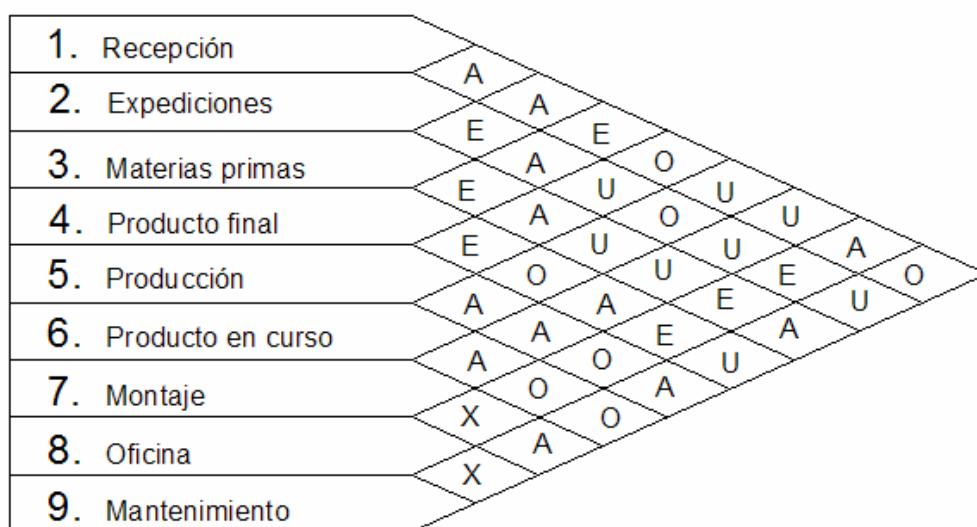


### 5.5.2 Aplicación del algoritmo CORELAP

A continuación se expone un ejemplo del funcionamiento teórico del algoritmo CORELAP. El funcionamiento teórico del algoritmo irá acompañado de los pasos dados por el programa implementado para este proyecto.

El diagrama de flujo utilizado por el algoritmo se encuentra en el apartado 6 “Desarrollo de la aplicación CORELAP 01” de este documento y en documento anexo el manual de funcionamiento del programa.

Datos del ejemplo:



Dimensiones de los departamentos:	
1	50 m <sup>2</sup>
2	60 m <sup>2</sup>
3	50 m <sup>2</sup>
4	70 m <sup>2</sup>
5	90 m <sup>2</sup>
6	50 m <sup>2</sup>
7	70 m <sup>2</sup>
8	30 m <sup>2</sup>
9	50 m <sup>2</sup>

Valores de los coeficientes:
V(A)=125
V(E)=25
V(I)=5
V(O)=1
V(U)=0
V(X)=-125

Figura 5.10: Gráfico de relación de actividades y datos del ejemplo.

## Desarrollo de una herramienta informática basada en el algoritmo CORELAP para la optimización de distribuciones en planta

Los datos del ejemplo quedarían introducidos en la interfaz del programa CORELAP 1.0 de la manera que se muestra en las figuras 5.11 y 5.12:

¿Cuántos departamentos quiere implantar?

	Nombre Departamento	Tamaño Depart. m2
1	RECEPCIÓN	50
2	EXPEDICIONES	60
3	MATERIAS PRIMA:	50
4	PRODUCTO FINAL	70
5	PRODUCCIÓN	90
6	PRODUCTO EN CL	50
7	MONTAJE	70
8	OFICINAS	30
9	MANTENIMIENTO	50

Superficie Disponible :

Definición de los parámetros que determinan el peso de las relaciones.

A =   
 E =   
 I =   
 O =   
 U =   
 X =

El chart de relaciones se rellena asignando una de estas 6 constantes a la relación entre cada 2 departamentos. El valor de cada constante puede ser modificado en esta tabla.

Figura 5.11: Introducción de datos en aplicación CORELAP 01

¿Cuántos departamentos quiere implantar?

A=125, E=25, I=5, O=1, U=0, X=-125

	Nombre Departamento	Tamaño Depart. m2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	RECEPCIÓN	50		A	A	E	O	U	U	A	O	
2	EXPEDICIONES	60			E	A	U	O	U	E	U	
3	MATERIAS PRIMA:	50				E	A	U	U	E	A	
4	PRODUCTO FINAL	70					E	O	A	E	U	
5	PRODUCCIÓN	90						A	A	O	A	
6	PRODUCTO EN CL	50							A	O	O	
7	MONTAJE	70								X	A	
8	OFICINAS	30									X	
9	MANTENIMIENTO	50										X

Figura 5.12: Introducción de los coeficientes de proximidad entre departamentos

Desarrollo de una herramienta informática basada en el algoritmo CORELAP  
para la optimización de distribuciones en planta

A continuación según el algoritmo se procederá a calcular el TCR (ratio total de proximidad) de cada uno de los departamentos. Esto se muestra en la tabla siguiente:

Tabla de valores TCR:

Dept.	Department									Summary						TCR	Order
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	E	I	O	U	X		
1	-	A	A	E	O	U	U	A	O	3	1	0	2	2	0	402	(3)
2	A	-	E	A	U	O	U	E	A	2	2	0	1	3	0	301	(6)
3	A	E	-	E	A	U	U	E	A	3	3	0	0	2	0	450	(2)
4	E	A	E	-	E	O	A	E	U	2	4	0	1	1	0	351	(5)
5	U	O	A	E	-	A	A	O	A	4	1	0	2	1	0	527	(1)
6	U	O	U	O	A	-	A	O	O	2	0	0	4	2	0	254	(7)
7	U	U	U	A	A	A	-	X	A	4	0	0	0	3	1	375	(4)
8	A	E	E	E	O	O	X	-	X	1	3	0	2	0	2	-48	(9)
9	O	U	A	U	A	O	A	X	-	3	0	0	2	2	1	252	(8)

Figura 5.13: Tabla con los valores de TCR de cada uno de los departamentos.

El programa hace el cálculo del TCR de cada uno de los departamentos de la distribución y nos los muestra ordenados en orden decreciente de TCR, como se muestra en la figura 5.14.

CORELAP 01\_Presentación Resultados

**ORDENACIÓN DE LOS DEPARTAMENTOS POR IMPORTANCIA**

Orden	Nombre	TCR	Superficie m2
1.-	PRODUCCIÓN	527	90
2.-	MATERIAS PRIMA	450	50
3.-	RECEPCIÓN	402	50
4.-	MONTAJE	375	70
5.-	PRODUCTO FINAL	351	70
6.-	EXPEDICIONES	301	60
7.-	PRODUCTO EN CI	254	50
8.-	MANTENIMIENTO	252	50
9.-	OFICINAS	-48	30

Solución Gráfica

Calcular Iteraciones

Superficie Requerida < Superficie Disponible

Superficie Requerida: 520

Superficie Disponible: 540

Figura 5.14: Presentación en el programa CORELALAP 0.1 de los valores obtenidos de TCR de cada uno de los departamentos.

## Iteraciones para la colocación de los departamentos

### Primera iteración

En la primera iteración el departamento de mayor TCR se coloca en el centro de la distribución y a continuación se coloca el departamento con un mayor ratio de proximidad con el primero. En el caso práctico el departamento con mayor TCR es el 5, de Producción, que se colocará en el centro de la distribución.

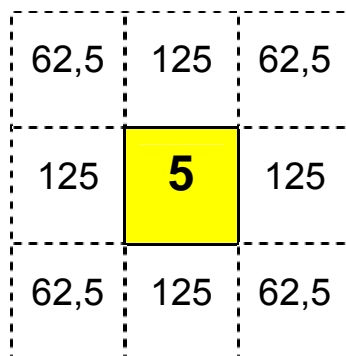


Figura 5.15: Colocación del primer departamento en el Layout.

### Segunda iteración

El siguiente departamento en ser colocado es el 3 de Materias Primas por tener un valor de afinidad máximo con el departamento ya colocado y además tener el mayor valor de TCR de entre los departamentos que tienen el mismo valor de afinidad con el departamento ya colocado.

A igualdad de ratio de proximidad con los departamentos ya colocados se coge el departamento que tenga mayor TCR. Y a igualdad de afinidad y TCR se elegirá al de mayor superficie.

A la hora de colocar los departamentos las posiciones no perpendiculares a las caras de los departamentos ya colocados se penalizan multiplicando los coeficientes de proximidad por 0,5. Las posiciones perpendiculares a las caras de los departamentos ya colocados tienen preferencia y sus coeficientes de proximidad no se penalizan.

En el ejemplo, el departamento 5 tiene un coeficiente de proximidad "A" con el departamento 3, que es el siguiente en ser colocado. Por lo tanto las posiciones que sean perpendiculares a las caras del departamento ya colocado tendrán una puntuación de 125 y las no perpendiculares de 62,5. Ver figura 5.16:

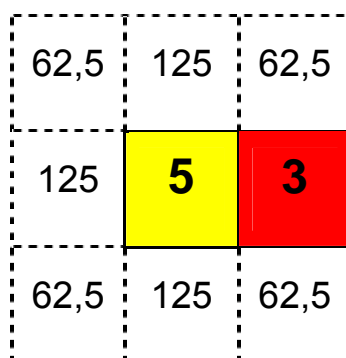


Figura 5.16: Colocación del segundo departamento en el Layout.

Los pasos dados por el algoritmo, y que han sido descritos, los realiza el programa CORELAP 0.1 como se muestra a continuación. Primero se presenta el paso en el que el algoritmo selecciona el departamento 3, de materias primas, para ser colocado en segundo lugar:

Desarrollo de una herramienta informática basada en el algoritmo CORELAP para la optimización de distribuciones en planta

CORELAP 01_Iteraciones													
Busqueda del departamento más afín a los ya colocados													
TCR	1	2	3	4	5	6	7	8	9				
MATERI 50	450	125	25	0	25	125	0	0	25	125	3	9	
ENSAMB 70	375	0	0	0	125	125	125	0	-125	125	7	7	
PRODUC 50	254	0	1	0	1	125	0	125	1	1	6	4	
MANTEN 50	252	1	0	125	0	125	1	125	-125	0	9	3	
PRODUC 70	351	25	125	25	0	25	1	125	25	0	4	6	
RECEPC 50	402	0	125	125	25	1	0	0	125	1	1	8	
OFICIN 30	-48	125	25	25	25	1	1	-125	0	-125	8	2	
EXPEDI 60	301	125	0	25	125	0	1	0	25	0	2	5	
-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	1

Figura 5.17: Selección del departamento 3 para ser colocado en 2º lugar.

En la columna en rojo de la figura 5.17 se ordenan todos los departamentos según su afinidad con respecto al departamento ya colocado, el 5. A igualdad de ratio de proximidad con el departamento ya colocado, 125 en este caso, se selecciona aquel departamento que tenga mayor TCR. El valor de TCR de cada departamento se puede ver en la columna en azul de la figura 5.17.

En la figura 5.18 se muestra el tratamiento que da el programa CORELAP 0.1 al algoritmo de colocación de los departamentos:

Iteraciones para la obtenc									
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	62,5	125	62,5	0	0	0	0	0
0	0	125	-1E+42	-1E+42	0	0	0	0	0
0	0	62,5	125	62,5	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 5.18: Ubicación de los departamentos en el Layout en la aplicación.

Cada número distinto de cero corresponde a una posición candidata a acoger un departamento dentro de la distribución en la iteración en cuestión, y las posiciones con valor “-1E+42” indican una posición ya ocupada por algún

departamento. La posición central está ocupada por el departamento 5. En los lados de este departamento vemos como se ha ponderado cada una de las posiciones con los ratios de proximidad, para valorar la colocación del siguiente departamento. Finalmente el algoritmo ha colocado el departamento 3 en una posición de ratio de proximidad 125 por encontrarse en una posición perpendicular a una cara del departamento ya colocado.

## Desarrollo de una herramienta informática basada en el algoritmo CORELAP para la optimización de distribuciones en planta

En la pantalla de iteraciones se nos da información suplementaria que a continuación explicamos.

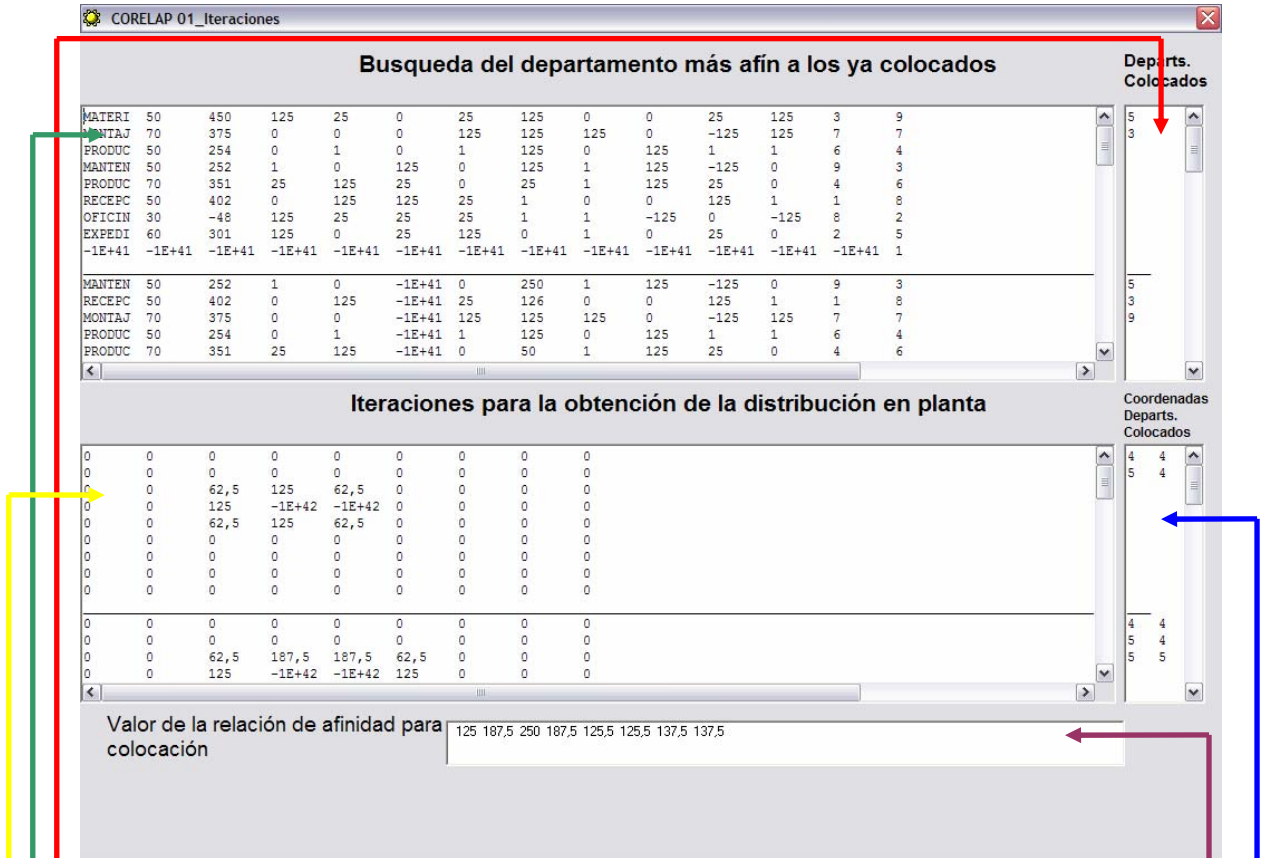


Figura 5.19: Pantalla de ejecución de algoritmos de la aplicación CORELAP 0.1.

- Se nos indica cuales son los departamentos que tienen asignada su posición en cada una de las iteraciones.
- Aplicación del algoritmo de “búsqueda del orden de los departamentos en ser colocados”.
- Aplicación del algoritmo de “ubicación de cada unos de los departamentos” según el orden indicado y expresado en el algoritmo anterior.
- Valor de la afinidad del departamento en ser colocado con respecto a los ya ubicados, teniendo en cuenta el coeficiente de penalización en la posiciones no perpendiculares a las posiciones ya ocupadas.
- Coordenadas sobre el layout de cada uno de los departamentos que han sido colocados en cada una de las iteraciones.



## Desarrollo de una herramienta informática basada en el algoritmo CORELAP para la optimización de distribuciones en planta

### Tercera iteración

En la siguiente iteración se coloca el departamento de más afinidad con respecto los departamentos ya colocados, el 5 y el 3. Este departamento es seleccionado en el algoritmo de “búsqueda del departamento más afín a los departamentos ya colocados” de la aplicación CORELAP 0.1. En la figura 5.20 podemos ver como el siguiente departamento en ser seleccionado, el 9 (departamento de mantenimiento), es aquel que tiene más afinidad con los otros departamentos colocados. En la misma figura podemos ver como en el algoritmo para la distribución en planta se coloca este departamento en la posición en que los coeficientes de proximidad de los departamentos colocados con el departamento que se va a colocar son máximos.

Ver explicación de la iteración 2ª como ejemplo de interpretación de la pantalla de ejecución de algoritmos de la aplicación CORELAP 0.1.

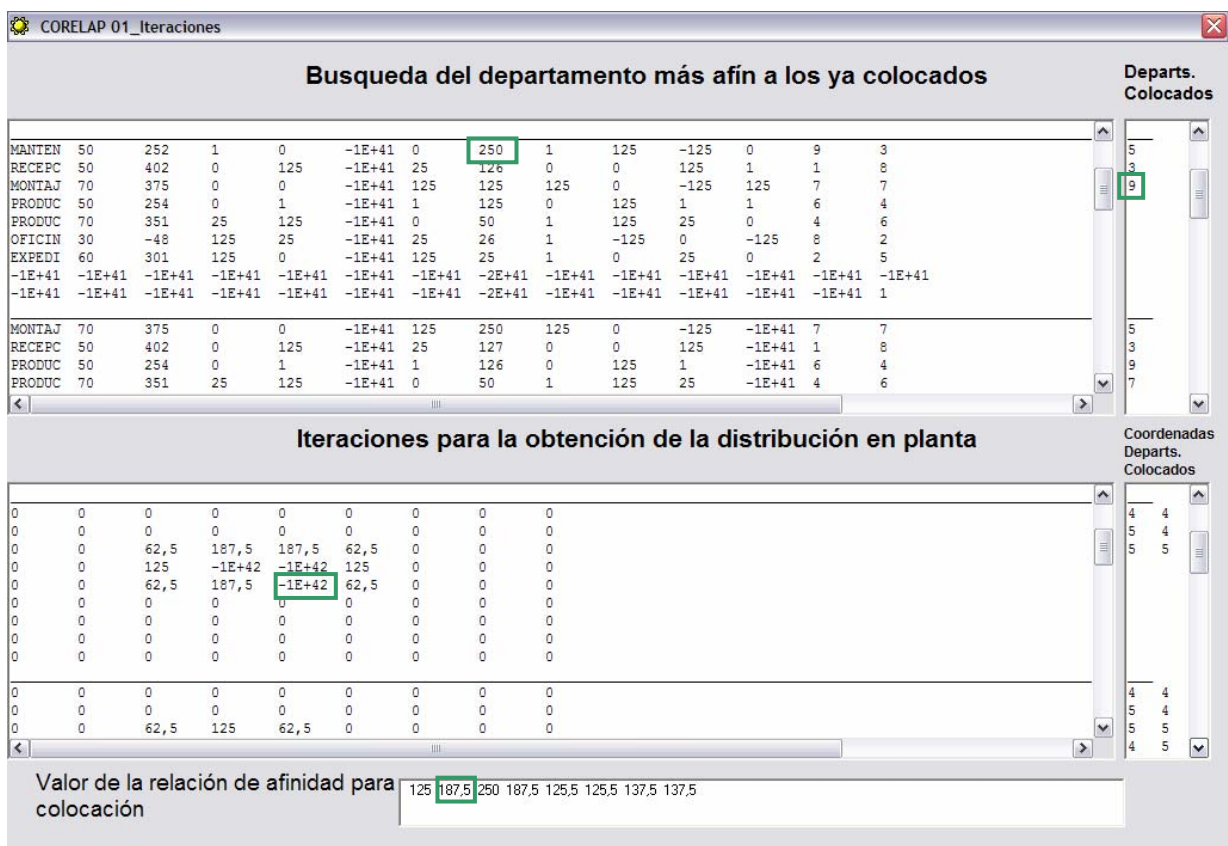


Figura 5.20: Iteración 3ª en la pantalla de ejecución de algoritmos de la aplicación.

Desarrollo de una herramienta informática basada en el algoritmo CORELAP  
para la optimización de distribuciones en planta

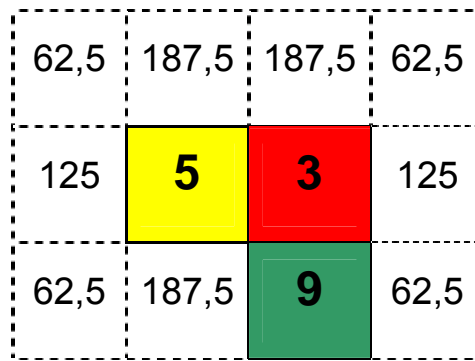


Figura 5.21: Ubicación de los departamentos en el Layout en la iteración 3ª.

Iteraciones sucesivas

Los departamentos sucesivos se colocarán según el procedimiento explicado para los primeros departamentos. Primero se toma del algoritmo de búsqueda el departamento a colocar y después se aplica el algoritmo de colocación para ubicarlo.

Las pantallas de la aplicación hasta la colocación de todos los departamentos son las siguientes:

**Iteración 4ª**

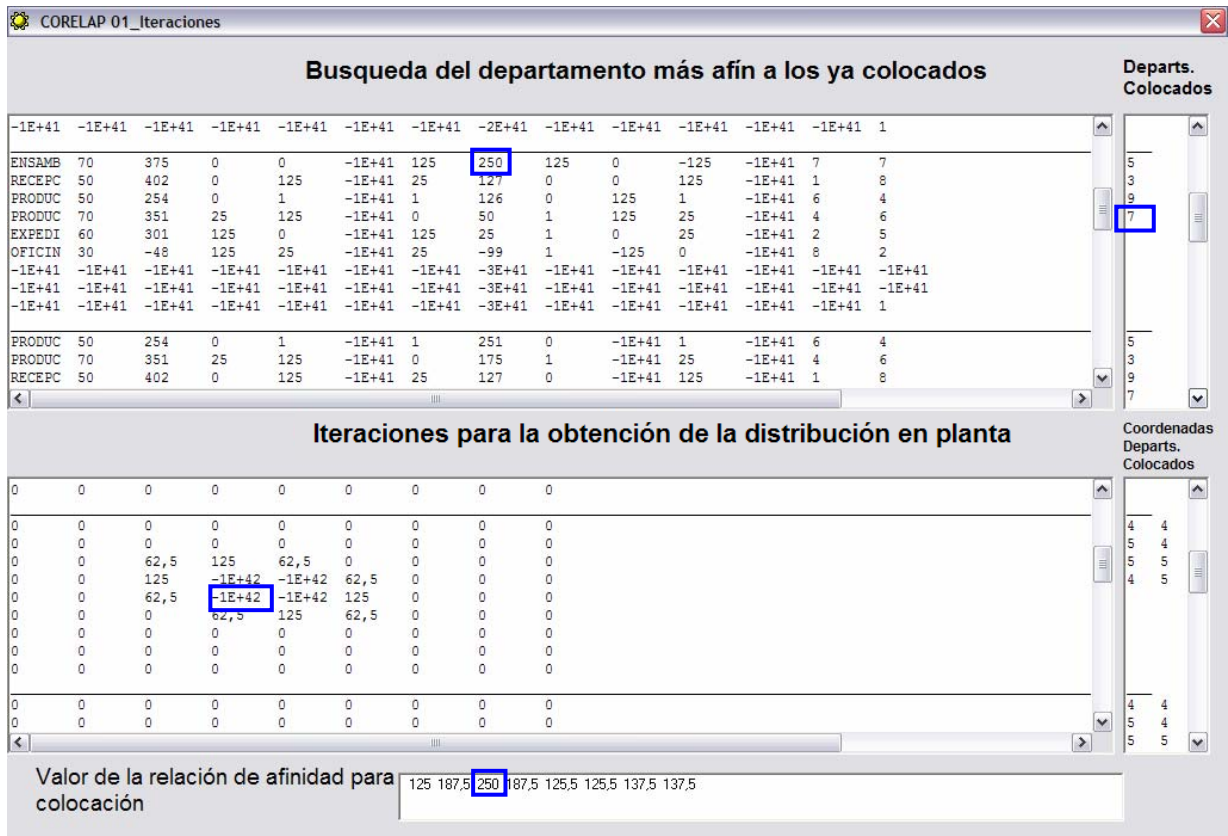


Figura 5.22: Iteración 4ª en la pantalla de ejecución de algoritmos de la aplicación.

Desarrollo de una herramienta informática basada en el algoritmo CORELAP para la optimización de distribuciones en planta

62,5	125	62,5	0
125	5	3	62,5
62,5	7	9	125
0	62,5	125	62,5

Figura 5.23: Ubicación de los departamentos en el Layout en la iteración 4ª.

### Iteración 5ª

**Busqueda del departamento más afín a los ya colocados**

-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-3E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	1
PRODUC 50	254	0	1	-1E+41	1	251	0	-1E+41	1	-1E+41	6	4	
PRODUC 70	351	25	125	-1E+41	0	175	1	-1E+41	25	-1E+41	4	6	
RECEPC 50	402	0	125	-1E+41	25	127	0	-1E+41	125	-1E+41	1	8	
EXPEDI 60	301	125	0	-1E+41	125	25	1	-1E+41	25	-1E+41	2	5	
OFICIN 30	-48	125	25	-1E+41	25	-224	1	-1E+41	0	-1E+41	8	2	
-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-4E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	
-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-4E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	
-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-4E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	
-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-4E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	

**Iteraciones para la obtención de la distribución en planta**

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	62,5	125	62,5	0	0	0	0	0
0	0	187,5	-1E+42	-1E+42	0,5	0	0	0	0
0	0	-1E+42	-1E+42	-1E+42	1	0	0	0	0
0	0	62,5	125,5	63,5	0,5	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Valor de la relación de afinidad para colocación: 125 187,5 250 187,5 125,5 125,5 137,5 137,5

Figura 5.24: Iteración 5ª en la pantalla de ejecución de algoritmos de la aplicación.

Desarrollo de una herramienta informática basada en el algoritmo CORELAP para la optimización de distribuciones en planta

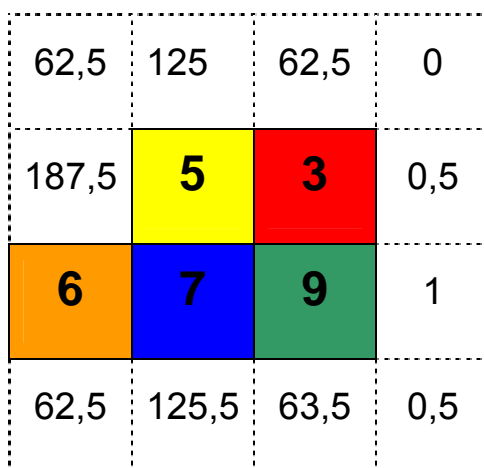


Figura 5.25: Ubicación de los departamentos en el Layout en la iteración 5ª.

Iteración 6ª

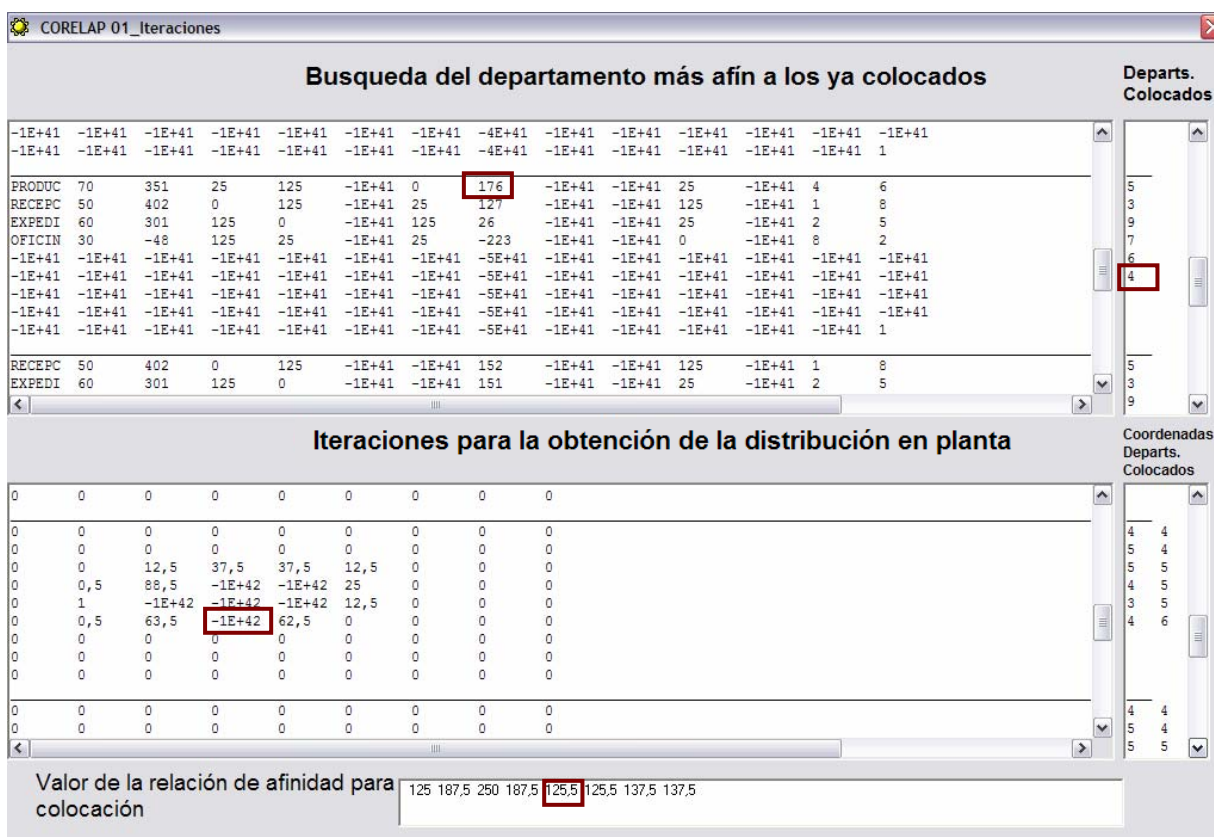


Figura 5.26: Iteración 6ª en la pantalla de ejecución de algoritmos de la aplicación.

Desarrollo de una herramienta informática basada en el algoritmo CORELAP para la optimización de distribuciones en planta

	0	12,5	37,5	37,5	12,5
0,5	88,5	5	3		25
1	6	7	9		12,5
0,5	63,5	4	62,5		0

Figura 5.27: Ubicación de los departamentos en el Layout en la iteración 6ª.

### Iteración 7ª

**CORELAP 01\_Iteraciones**

**Busqueda del departamento más afín a los ya colocados**

-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-5E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	1
RECEPC	50	402	0	125	-1E+41	-1E+41	152	-1E+41	-1E+41	125	-1E+41	1	8
EXPEDI	60	301	125	0	-1E+41	-1E+41	151	-1E+41	-1E+41	25	-1E+41	2	5
OFICIN	30	-48	125	25	-1E+41	-1E+41	-198	-1E+41	-1E+41	0	-1E+41	8	2
-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-6E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41
-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-6E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41
-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-6E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41
-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-6E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41
-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-6E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41
-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-6E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41
-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-6E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41

**Iteraciones para la obtención de la distribución en planta**

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0,5	63,5	125,5	62,5	0	0	0	0
0	0	1	-1E+42	-1E+42	-1E+42	0	0	0	0
0	0	-1E+42	-1E+42	-1E+42	63,5	0	0	0	0
0	0	25	-1E+42	26	0,5	0	0	0	0
0	0	12,5	25	12,5	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Valor de la relación de afinidad para colocación: 125 187,5 250 187,5 125,5 125,5 137,5 137,5

Figura 5.28: Iteración 7ª en la pantalla de ejecución de algoritmos de la aplicación.

Desarrollo de una herramienta informática basada en el algoritmo CORELAP para la optimización de distribuciones en planta

0	0,5	37,5	37,5	63,5
0	1	5	3	1
0	6	7	9	63,5
0	25	4	26	0,5
0	12,5	25	12,5	0

Figura 5.29: Ubicación de los departamentos en el Layout en la iteración 7ª.

Iteración 8ª

**Busqueda del departamento más afin a los ya colocados**

-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-6E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	1
EXPEDI	60	301	-1E+41	0	-1E+41	-1E+41	276	-1E+41	-1E+41	25	-1E+41	2	5	
OFICIN	30	-48	-1E+41	25	-1E+41	-1E+41	-73	-1E+41	-1E+41	0	-1E+41	8	2	
-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-7E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41
-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-7E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41
-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-7E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41
-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-7E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41
-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-7E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41
-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-7E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41
-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-7E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41
-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-7E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41

**Iteraciones para la obtención de la distribución en planta**

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	12,5	87,5	137,5	62,5	0	0	0
0	0,5	1	-1E+42	-1E+42	-1E+42	125	0	0	0
0	1	-1E+42	-1E+42	-1E+42	-1E+42	62,5	0	0	0
0	0,5	126	-1E+42	125	0	0	0	0	0
0	0	62,5	125	62,5	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Valor de la relación de afinidad para colocación: 125 187,5 250 187,5 125,5 125,5 137,5 137,5

Figura 5.30: Iteración 8ª en la pantalla de ejecución de algoritmos de la aplicación.



0	0,5	13,5	88	137,5	62,5
0,5	-60,5	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>8</b>
1	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>2</b>	87,5
0,5	-36,5	<b>4</b>	-150	-37,5	12,5
0	12,5	25	12,5	0	0

Figura 5.33: Ubicación de los departamentos en el Layout en la iteración 9ª.

### Presentación de resultados

La pantalla de la aplicación “Corelap 0.1” en la cual se presentan los resultados es tal y como la que sigue en la siguiente figura:

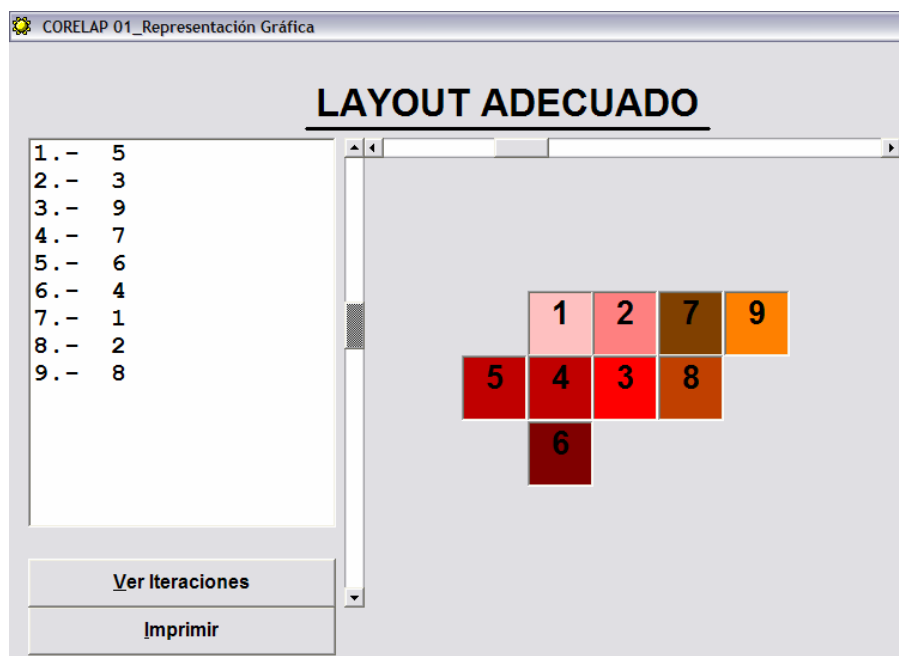


Figura 5.34: Pantalla de presentación de resultados.



## 5.6 Métodos de mejora

Mientras en los métodos de construcción se plantea el problema de ubicación de actividades, en los métodos de mejora se consideran problemas de asignación. Estos tienen aplicación en plantas industriales donde el proceso productivo venga determinado por secciones, entre las cuales exista un tráfico de materiales, y sea posible cuantificar los costes de transporte.

Los algoritmos empleados para la mejora de distribuciones son el CRAFT, y las variantes del mismo como el MICRORAFT y el COFAD.

### 5.6.1 CRAFT

CRAFT son las siglas de “Computerized Relative Allocation o Facilities Technique” (Ubicación Relativa Computerizada de Instalaciones). Es el primer programa para la realización de distribuciones en planta, por medio de ordenador, aparece en 1963. En su primer momento fue presentado por Armour, Buffa y posteriormente verificado y perfeccionado por Armour, Buffa y Vollman (1967). El algoritmo empleado minimiza el coste de manutención asociado a distribución en planta, partiendo de un layout inicial e intentando, mediante intercambios sucesivos de parejas de actividades, reducir el coste de transporte.

Dada una distribución en planta inicial intenta minimizar los costes de transporte a través de una función objetivo en base a distancia-volumen. En donde:

$$\text{Coste de transporte} = \text{flujo} \cdot \text{distancia} \cdot \text{unidad de coste}$$

El algoritmo asume los siguientes principios:

- a. El coste de desplazamiento es independiente de la utilización del equipamiento.
- b. El coste de desplazamiento es lineal en relación a la longitud de desplazamiento.

Las distancias consideradas son siempre las distancias rectilíneas que unen los centroides de los departamentos.

### Procedimiento

1. Determinar el centroide de cada uno de los departamentos en la distribución de partida.
2. Calcular distancias rectilíneas entre centroides.
3. Calcular el coste de transporte de la distribución.
4. Considerar los intercambios entre los departamentos fronterizos o aquellos de igual dimensión.
5. Determinar el coste de transporte para cada intercambio interdepartamental.
6. Seleccionar y llevar a cabo el cambio de posición de los departamentos que proporcionan las mayores reducciones en coste de transporte.
7. Repetir el proceso para cada nueva distribución obtenida hasta que el cambio de la posición de los departamentos no implique una reducción en el coste de transporte.

### Consideraciones

- Solo se consideran los intercambios posibles entre los departamentos del mismo tamaño o entre los departamentos que son adyacentes.
- Los departamentos de desigual tamaño que no sean adyacentes no son considerados para el intercambio (en el MICRO-CRAFT se reduce esta restricción).
- Selecciona el mejor de todos los posibles intercambios.
- Puede no obtenerse una reducción de costes tras la realización de un intercambio.
- La hipótesis de los centroides puede dar lugar a extrañas formas de departamentos y a inaceptables distribuciones en planta, pero de bajo coste
- El algoritmo permite fijar departamentos y departamentos comodín. Estos departamentos pueden ser usados para rellenar irregularidades del edificio, representar obstáculos o áreas no utilizables, representar

espacio extra y añadir localizaciones aisladas para evaluación en la distribución final.

### 5.6.2 COFAD

Es una modificación del CRAFT que permite variedad en los equipos para el transporte de materiales.

Este algoritmo permite seleccionar el tipo de distribución en planta como el sistema de manejo de materiales.

Una versión especial, COFAD-F, permite la evaluación variando el volumen de producto y variaciones en el mismo para analizar la flexibilidad del diseño.

## 5.7 Aplicación de los algoritmos computacionales de mejora

### 5.7.1 Aplicación del algoritmo CRAFT

Partimos de la distribución en planta inicial y la tabla desde-hacia dada.

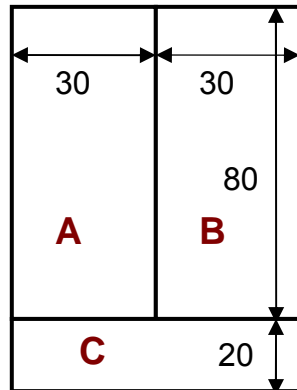


Tabla de flujos entre departamentos:

	A	B	C
A	/	2	6
B	2	/	3
C	3	4	/

Tabla de distancias entre los centroides de los departamentos:

	A	B	C
A	/	30	65
B	30	/	65
C	65	65	/

Tabla de costes de transporte:

	A	B	C
A	/	60	390
B	60	/	195
C	195	260	/

Coste total asociado al transporte: 1160

Asumimos que el objetivo es minimizar la distancia total recorrida. Para alcanzar el objetivo utilizaremos el método de intercambio por departamentos vecinos.

Compararemos la predicción de costes para la distancia total recorrida en la distribución de partida y en la obtenida tras la realización de modificaciones.

Primera iteración

Cambiando la posición de A y B: como son simétricos el coste resultante es el mismo.

Segunda iteración

Cambiamos A y C y lo comparamos con el cambio de B y C.

Cambio de A y C

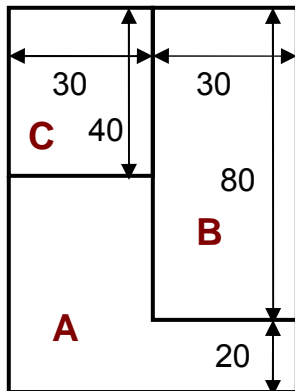


Tabla de flujos entre departamentos:

	A	B	C
A	/	2	6
B	2	/	3
C	3	4	/

Tabla de distancias entre los centroides de los departamentos:

	A	B	C
A	/	65	65
B	65	/	30
C	65	30	/

Tabla de costes de transporte:

	A	B	C
A	/	130	390
B	130	/	90
C	195	120	/

Coste total asociado al transporte: 1055

Cambio de B y C (respecto situación inicial)

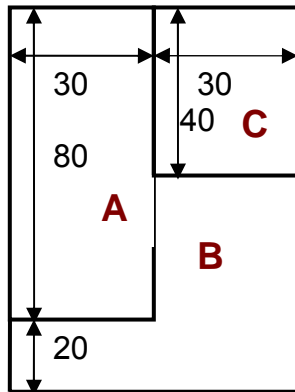


Tabla de flujos entre departamentos:

	A	B	C
A	/	2	6
B	2	/	3
C	3	4	/

Tabla de distancias entre los centroides de los departamentos:

	A	B	C
A	/	65	30
B	65	/	65
C	30	65	/

Tabla de costes de transporte:

	A	B	C
A	/	130	180
B	130	/	195
C	90	260	/

Coste total asociado al transporte: 985

Cada vez que se realiza un cambio entre departamentos los centroides de los mismos deben de ser recalculados.

Conclusiones:

El cambio entre B y C promete la mayor reducción de costes. Por lo tanto la distribución obtenida con esta modificación sería la más acertada según el algoritmo CRAFT.

### 5.8 Generación de Layouts por líneas de producción

La gran mayoría de los algoritmos desarrollados tradicionalmente para la obtención de implantaciones o layouts, aseguran la obtención de un óptimo global de la función objetivo establecida, pero dando un tratamiento similar a todas las actividades a ubicar. Esto es, no distinguen entre aquellas actividades que constituyen la línea de producción y aquellas genéricamente clasificadas como medios auxiliares de producción.

En la mayoría de factorías industriales, es posible diferenciar las actividades de la línea principal de producción los medios o actividades auxiliares a la producción.

Teniendo en cuenta la gran diferencia que existe entre estos dos tipos de actividades, desde el punto de vista de la implantación, es aconsejable establecer criterios de ubicación diferenciados para ambos. Por ello se ha desarrollado otro tipo de algoritmos. Este tercer tipo de algoritmos se denominan de *implantación de líneas de producción o por cadena*.

La metodología empleada se basa en implantar primeramente las actividades productivas, y una vez situadas éstas, introducir los medios auxiliares de producción en los espacios disponibles.

Pero la representación de las actividades principales no se realiza basándose en su superficie, sino en una magnitud lineal proporcional a la importancia del movimiento en su interior. Para simplificar el análisis, sólo se admite la consideración de dos orientaciones para estas magnitudes lineales, desfasadas un ángulo de 90 grados. Por lo tanto, la implantación aparecerá como una alternancia de tramos horizontales y verticales, según cuál sea la dirección preferente del movimiento en su interior.

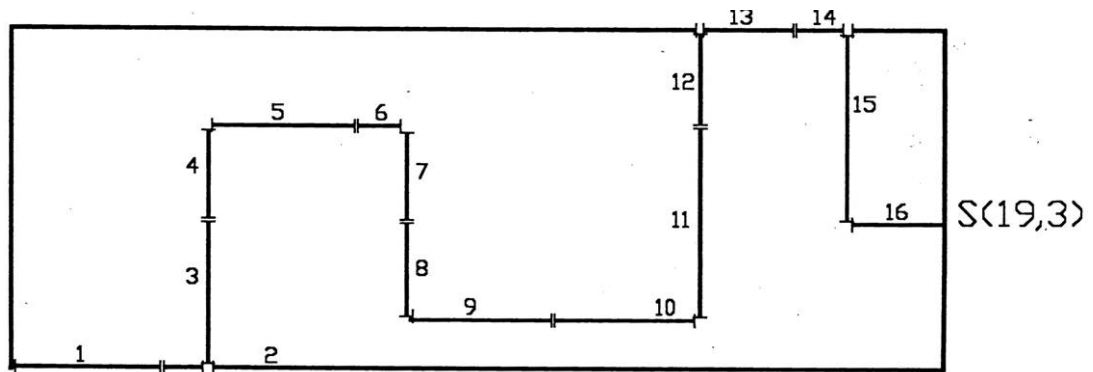


Figura 5.35: Representación de la línea de producción en una implantación por cadena.

### 5.9 Control de la forma

Para permitir un cierto control sobre la forma en aquellos casos en que interesa modificar o controlar la agregación de las actividades en una implantación, debemos introducir ciertos parámetros para indicar la forma individual de cada una de las actividades, en primer lugar, y la manera en que aquéllas se incorporan a la distribución en planta.

En general el problema queda planteado con la definición de “*los espacios que pueden usarse*”, y la forma que pueden tener. Ya se ha comentado anteriormente la posibilidad de diferentes formas en los métodos que descomponen las actividades en “*casillas o cuadrículas*”, de igual superficie. Entonces cada actividad venía determinada por un número de casillas y por las limitaciones largo-ancho, y siempre considerando formas rectangulares.

El contorno de una sección o actividad puede en general ser determinado cuando todos sus componentes (cuadrículas) han sido ubicadas, con la condición de ser una forma admisible o “utilizable”. Por tanto, cualquier limitación para el control de la forma, implica consecuentemente el “reconocimiento” de la misma. Tal requerimiento es obviamente complejo, y en muchos casos impracticable con algunos de los programas tradicionalmente más extendidos y empleados. La figura 5.36 muestra la agrupación por centros de gravedad de una distribución en planta que presenta graves problemas de interferencias y de delimitación de contorno.



Una manera en la que se puede intentar influir en la forma del conjunto de actividades de una implantación, con los planteamientos actuales, es condicionar implícitamente su crecimiento o agregación en formas regulares. Esto se consigue valorando el contorno entre actividades, asignando unos pesos que entran en la función objetivo, en vez de realizar las ubicaciones de forma aleatoria. Serias limitaciones aparecen cuando se da excesiva importancia a la consecución de formas regulares; piénsese por ejemplo los casos en que el crecimiento de “cuadrículas” alcance un borde definido para la implantación, y sea imposible crecer en esa dirección.

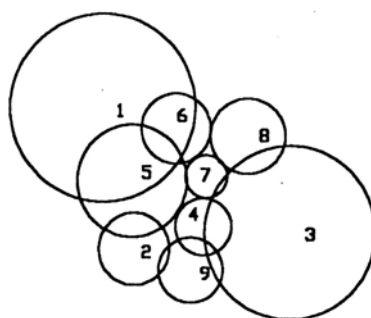
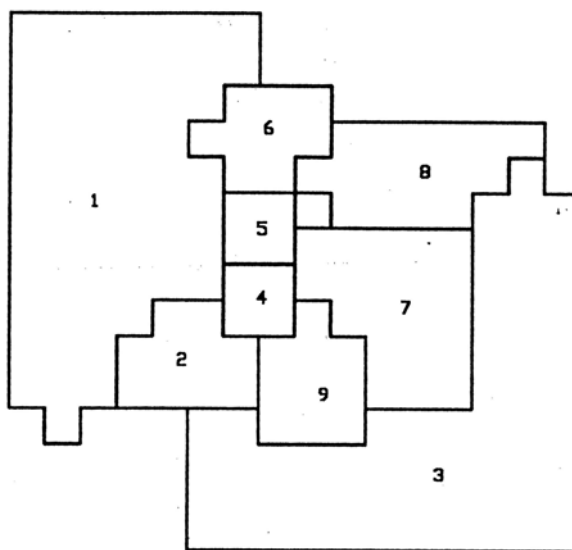


Figura 5.36: Análisis del control de la forma mediante centros de gravedad.

Cuando la zona de implantación viene definida en casillas, puede conseguirse el control de la forma estableciendo una ponderación tal que se vean favorecidos los contornos entre actividades con mayores pesos. Así la ubicación de una actividad influye en todas aquellas que le preceden, alternando el contorno que se obtiene. Se observa, por consiguiente, la existencia de múltiples soluciones en función de la forma, con lo que el problema puede complicarse enormemente. En los algoritmos desarrollados el tamaño de las cuadrículas limita la magnitud del problema.

Como ya hemos apuntado anteriormente nuestro objetivo va más allá de la obtención de la distribución en planta, que en general viene definida en 2D. Se pretende integrar este aspecto del diseño con los otros factores, de forma que podamos obtener el diseño global de la Planta Industrial en tres dimensiones, también utilizando la integración de estos programas con herramientas CAD.

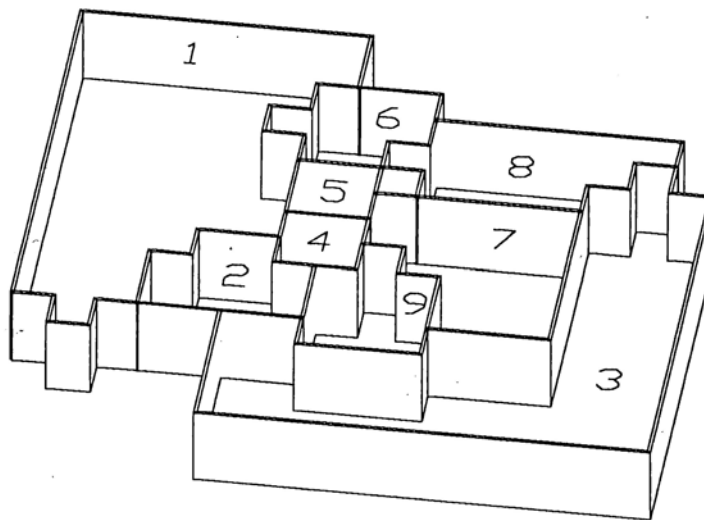


Figura 5.37: Visualización en el espacio (3D) del layout de la figura anterior.

## 6. DESARROLLO DE LA APLICACIÓN CORELAP 01

A continuación se presentan los diagramas de flujo de las principales funciones del programa "CORELAP 01".

### 6.1 Diagrama de flujo de inicio

En la figura 6.1 se muestra el funcionamiento del comienzo de la aplicación.

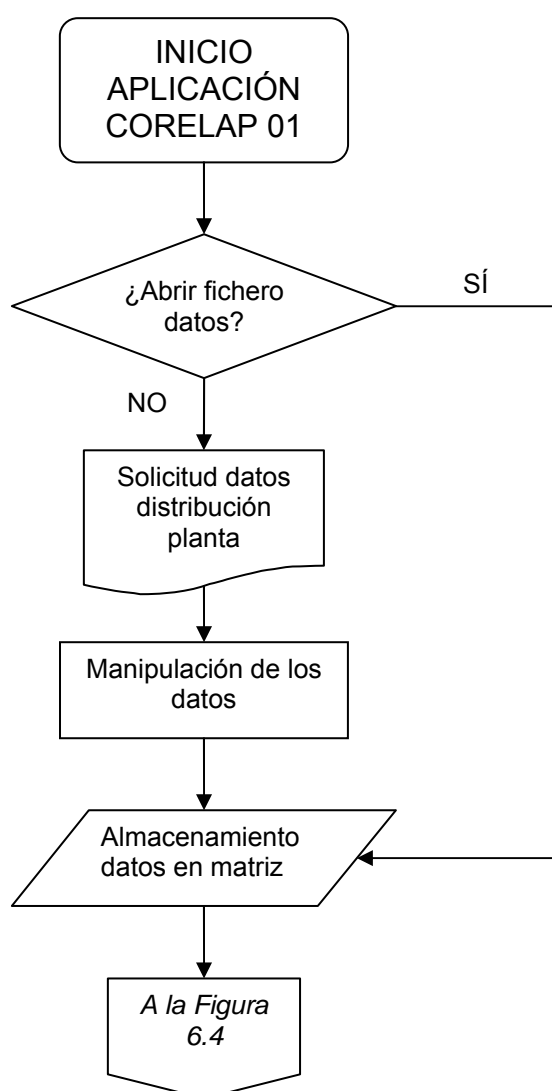


Figura 6.1 Diagrama de flujo de inicio

Una vez que empieza la aplicación, se tiene la posibilidad de abrir un archivo con los datos de una distribución con la que se haya trabajado previamente o introducir los datos de una nueva distribución.

Si elegimos crear una nueva distribución, la aplicación nos presenta un formulario con todos los datos necesarios para el algoritmo y que el usuario debe rellenar:

- Nombre de los departamentos.
- Tamaño de los departamentos.
- Valores que queremos dar a las constantes con las que ponderamos las relaciones entre los departamentos: A, E, I, O, U, X.
- Valoración cualitativa que quiere hacer el usuario de la relación entre cada par de departamentos.
- Superficie disponible en el proyecto.

#### Sustitución de constantes por valores numéricos

Todos los datos introducidos por el usuario se almacenan en una matriz llamada en la programación "ma". Es interesante el código de como el algoritmo sustituye todos los valores introducidos como constantes (A, E, I, O, U, X) en el formulario por los valores numéricos establecidos por el usuario. Ver código de la figura 6.2 de la programación, donde:

- ma: matriz en la que se guardan todos los datos introducidos por el usuario.
- a: es el número de departamentos, y el número de filas de nuestra matriz de trabajo.
- i: es el número de columnas de nuestra matriz.
- "Form2.Text2(nºid)": son los bloques de texto en los que se han introducido los valores numéricos de las constantes con que se ponderan las relaciones.
- c: es un entero utilizado como contador de iteraciones.

```
For i = 1 To a 'recorremos la matriz por filas
For j = 1 To l 'recorremos la matriz por columnas

If Form2.Text2(2 * a + c + 1) = "A" Then
    ma(2 + a - j + 1, a - i + 1) = A9
    ma(2 + a + a - j + 1, a - i + 1) = "A"
Elseif Form2.Text2(2 * a + c + 1) = "E" Then
    ma(2 + a - j + 1, a - i + 1) = E9
    ma(2 + a + a - j + 1, a - i + 1) = "E"
Elseif Form2.Text2(2 * a + c + 1) = "I" Then
    ma(2 + a - j + 1, a - i + 1) = I9
    ma(2 + a + a - j + 1, a - i + 1) = "I"
Elseif Form2.Text2(2 * a + c + 1) = "O" Then
    ma(2 + a - j + 1, a - i + 1) = O9
    ma(2 + a + a - j + 1, a - i + 1) = "O"
Elseif Form2.Text2(2 * a + c + 1) = "U" Then
    ma(2 + a - j + 1, a - i + 1) = U9
    ma(2 + a + a - j + 1, a - i + 1) = "U"
Elseif Form2.Text2(2 * a + c + 1) = "X" Then
    ma(2 + a - j + 1, a - i + 1) = X9
    ma(2 + a + a - j + 1, a - i + 1) = "X"
End If

c = c + 1

Next
Next
```

Figura 6.2 Código de programa para la sustitución de constantes de afinidad en formato carácter por valores numéricos.

En el código el programa recorre los elementos de la matriz sustituyendo los caracteres A, E, I, O, U, X introducidos por el usuario por sus correspondientes valores numéricos representados por las variables "A9", "E9", "I9", "O9", "U9", "X9".

#### Introducción de los datos de la matriz en un fichero de extensión "\*.clp"

El usuario tiene la posibilidad de guardar los datos del proyecto con los que quiere trabajar en un fichero de extensión "\*.clp", para trabajar con ellos con

posterioridad o para el estudio de diversas alternativas. A continuación se muestra el código necesario para esta tarea.

```
Write #1, a 'Se indican en el fichero el número de departamentos
Write #1, suPerficie 'se guarda el valor de la superficie disponible

'se registran los valores de las constantes de ponderación
Write #1, A9
Write #1, E9
Write #1, I9
Write #1, O9
Write #1, U9
Write #1, X9
'se registran los nombres de los departamentos
For i = 1 To a
  Write #1, ma(1, i)
Next
'se guardan el valor de las superficies de cada departamento
For i = 1 To a
Write #1, CDbI(ma(2, i))
Next
'se guardan el valor de la relación entre los departamentos
For i = 1 To a 'para cada fila
For j = 1 To I 'para cada columna
If i = j Then
Write #1, ""
Else
Write #1, ma(3 + a + a - j, a - i + 1)
End If
Next
Next
'se registra una identificación del fichero
Write #1, "Fichero creado para ser utilizado por el programa CORELAP 01"
Write #1, "Benito Fernández Márquez"
'con este comando se cierra el fichero abierto para guardar los datos
Close #1
```

Figura 6.3 Código de programa para guardar los datos en un fichero de extensión  
“\*.clp”.

## 6.2 Diagrama de flujo del algoritmo de selección de departamentos

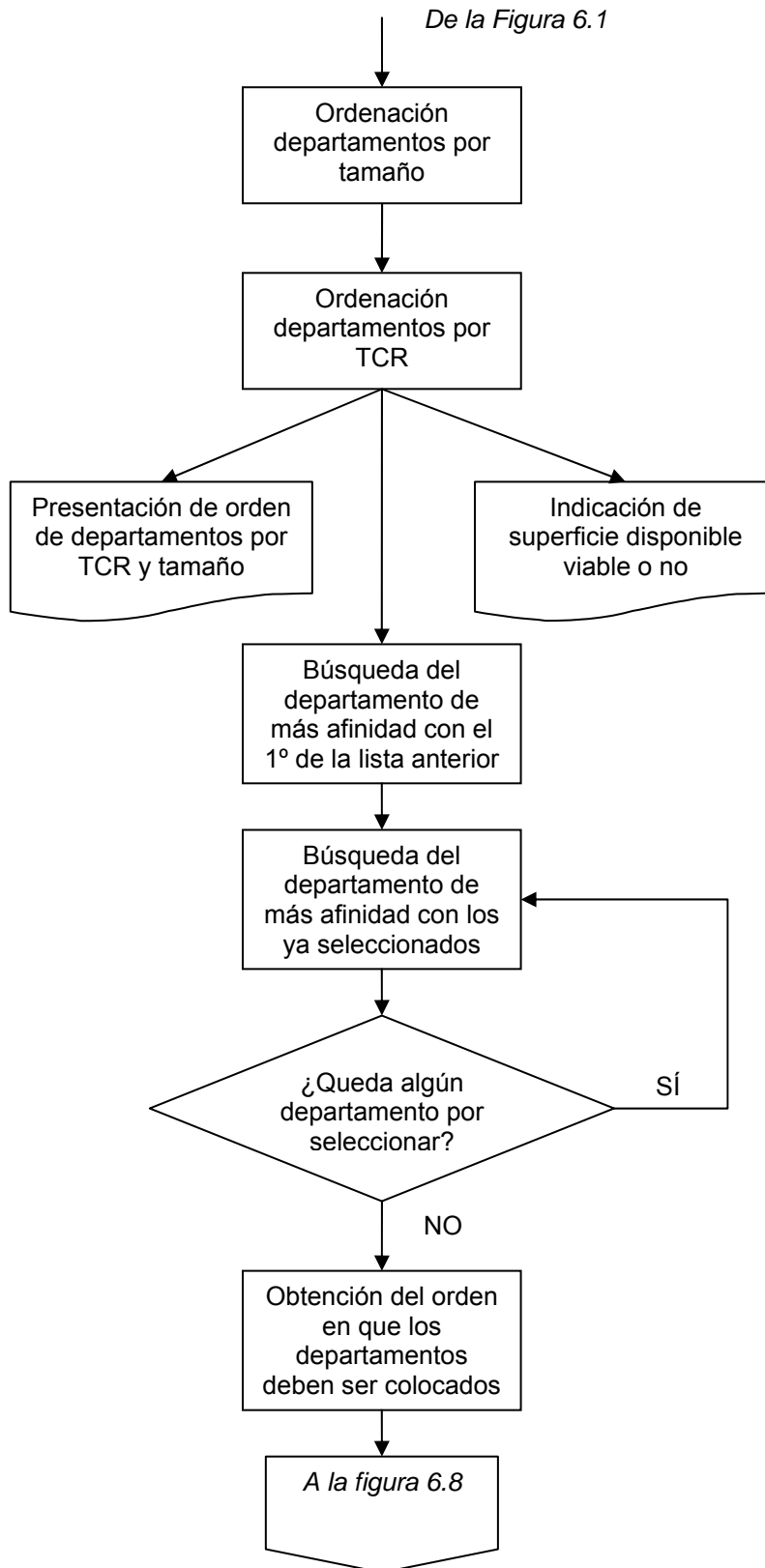


Figura 6.4 Diagrama de flujo de selección de departamentos.

Del primer diagrama de flujo (figura 6.1) se había obtenido una matriz con todos los datos necesarios para el algoritmo y que debían haber sido introducidos por el usuario o recuperados de un fichero de extensión “\*.clp”.

En los pasos que se siguen en el diagrama de la figura 6.4, el algoritmo va a ordenar los departamentos que conforman la matriz de datos en función del tamaño de los departamentos.

Una vez que los departamentos han sido ordenados por el valor de su tamaño se ordenan por su valor de TCR.

Con las dos ordenaciones precedentes hemos conseguido como resultado que los departamentos queden ordenados de mayor a menor TCR y que en caso de empate a valor de TCR el siguiente departamento en la lista sea aquel de mayor superficie.

#### Ordenación de los departamentos por valor de TCR

En la figura 6.5 hay un ejemplo del código de ordenación de los departamentos según su valor de TCR. En donde las variables utilizadas son:

- ml: matriz en la que se almacenan los datos del proyecto.
- mn: matriz en la que se almacenarán los datos del proyecto una vez que los departamentos estén ordenados por valor de TCR.
- q: número de filas.
- V: variable que almacena valores en los cálculos entre iteraciones.
- i: variable que almacena valores en los cálculos entre iteraciones.
- j: variable que almacena valores en los cálculos entre iteraciones.
- x: variable que almacena valores en los cálculos entre iteraciones.



```
For i = 1 To q 'para recorrer todas las filas
x = ml(3, i) 'el valor de TCR se encuentra en la columna 3
V = i 'recuerda cual es la fila con que se compara
'se recorren todos los valores de TCR de la columna comparando todos los
'valores unos con otro para coger el valor más alto
For j = 1 To q
If x <= ml(3, j) Then
x = ml(3, j)
V = j
End If
Next
'ordenemos todos los datos presentes en la fila
For j = 1 To q + 4
mm(j, i) = ml(j, V)
Next
'con esto se descarta que la misma fila sea elegida otra vez
ml(3, V) = -1E+42
Next
```

Figura 6.5 Código de programa para la ordenación de departamentos por valor de TCR.

#### Algoritmo de selección del departamento más afín con los departamentos ya seleccionados

Una vez ordenados los departamentos por valor de TCR y tamaño el algoritmo debe calcular cual es el orden en que posteriormente serán colocados los departamentos.

El primer departamento que será colocado es aquel que fue primero en la lista ordenada según el valor de TCR y tamaño, es decir, cuando haya varios departamentos con el mismo valor de TCR se cogerá al de mayor dimensión.

El siguiente departamento en ser seleccionado es aquel que tenga mayor afinidad con el primero de la lista. En caso de varios departamentos con igualdad de afinidad el algoritmo seleccionará aquel que tenga mayor TCR.

En el programa el código para encontrar este departamento (el segundo en colocarse), es simple, es aquel departamento con mayor afinidad con el primer departamento seleccionado. En caso de empate se debe elegir al departamento

de mayor TCR pero eso no es problema porque la matriz de datos sobre la que se está trabajando ya había sido ordenada previamente por valor de TCR.

El siguiente paso es más complicado pues a partir del tercer departamento a seleccionar se deben de tener en cuenta todos los departamentos que hayan sido seleccionados previamente, pues lo que se quiere es seleccionar el departamento de mayor afinidad con todos los departamentos ya seleccionados. Esto se conseguirá sumando en una columna las afinidades de todos los departamentos ya colocados y ordenando las filas en función de los valores de esta columna. Con esto se consigue tener en una columna la afinidad de cada departamento no colocado con todos los departamentos que ya han sido colocados. Ordenando los departamentos según los valores de esta columna se obtiene una lista de los departamentos ordenados por afinidad con respecto a los departamentos ya seleccionados.

Por lo tanto tras la ordenación de los departamentos en función de los valores de esta columna el primer departamento en la lista será el siguiente que debe ser seleccionado.

El código del algoritmo para la realización de estas tareas es el explicado en las figuras 6.6 y 6.7. En el que las variables utilizadas son:

- q: número de departamentos a ubicar.
- k: variable utilizada como contador.
- va: vector que almacena los departamentos que ya han sido seleccionados.
- mm: matriz que almacena los datos de los departamentos ordenados por tamaño y valor de TCR.
- mp: matriz que almacena cálculos en las iteraciones.
- mp2: matriz que almacena cálculos en las iteraciones.
- mq: matriz que almacena cálculos en las iteraciones.
- i: variable que almacena cálculos en las iteraciones.
- j: variable que almacena cálculos en las iteraciones.

Desarrollo de una herramienta informática basada en el algoritmo CORELAP  
para la optimización de distribuciones en planta

```
'almacenamos en el vector de selección el primer departamento, que es el
'que tiene mayor TCR.
va(1) = mp(q + 4, 1)
'y lo quitamos de la matriz de departamentos por colocar
For j = 1 To q + 4
mn(j, 1) = -1E+41 'dandole un valor tan bajo que no se podrá seleccionar
Next
'Una vez seleccionado el primer departamento nos quedan q-1 iteraciones
'para encontrar el orden de selección de todos los demás departamentos.
For k = 2 To q
'copiamos en mp los datos originales de la matriz mm
For i = 1 To q + 5
For j = 1 To q
mp(i, j) = mm(i, j)
Next
Next
'a los departamentos ya seleccionados les damos valores muy bajos a las
'filas de los valores de relaciones con otros departamentos para que no se
'puedan seleccionar otra vez
For j = 1 To q + 5
For i = 1 To k
mp(j, k1(i)) = -1E+41
Next
Next
'sumamos las columnas de las relaciones del departamento que se va a
'seleccionar con la columna de relaciones de los departamentos ya
'seleccionados
For i = 2 To q
For j = 1 To q
If va(i) > 0 Then
mp(va(1) + 3, j) = mp(va(1) + 3, j) + mp(va(i) + 3, j)
mp(va(i) + 3, j) = -1E+41
Elseif va(i) = 0 Then
mp(va(1) + 3, j) = mp(va(1) + 3, j)
End If
Next
Next
'ordenamos por valor de afinidad los departamentos que quedan por colocar
'según la columna en que estamos haciendo las sumas de relaciones
For i = 1 To q
x = mp(va(1) + 3, i)
V = i
For j = 1 To q
If x <= mp(va(1) + 3, j) Then
x = mp(va(1) + 3, j)
V = j
End If
Next
'ordenemos todas las filas
For j = 1 To q + 5
mp2(j, i) = mp(j, V)
Next
mp(va(1) + 3, V) = -1E+42
Next
```

-----Continúa en Figura 6.7-----

Figura 6.6 Código de programa para la búsqueda del departamento más afín.

-----Viene de la figura 6.6-----

'ordenación de las columnas en otra variable para manipulación datos

```
For i = 1 To q
For j = 1 To q
mq(1, j) = mp2(1, j)
mq(2, j) = mp2(2, j)
mq(3, j) = mp2(3, j)
mq(4 + q, j) = mp2(4 + q, j)
mq(5 + q, j) = mp2(5 + q, j)
mq(3 + i, j) = mp2(3 + i, j)
Next
Next
```

'se obtiene el siguiente departamento en ser colocado

```
va(k) = mq(q + 4, 1)
k1(k) = mq(q + 5, 1)
```

'presentación de las iteraciones en un cuadro de texto del formulario siempre  
'y que se haya validado en la casilla correspondiente

```
If Form4.Check1.Value = 1 Then
Dim cad As String
For i = 1 To q
'fila
For j = 1 To q + 5
If Len(mq(j, i)) > 6 Then
cad = Mid(mq(j, i), 1, 6) & Space(2)
Else
cad = mq(j, i) & Space(2 + 6 - Len(mq(j, i)))
End If
Form3.Text1.Text = Form3.Text1.Text & cad
Next
Form3.Text1.Text = Form3.Text1.Text & vbCrLf
Form3.Text2.Text = Form3.Text2.Text & va(i) & vbCrLf
Next
Form3.Text1.Text = Form3.Text1.Text &
"
" & vbCrLf
Form3.Text2.Text = Form3.Text2.Text & "___" & vbCrLf
End If

Next
```

Figura 6.7 Código de programa para la búsqueda del departamento más afín.

### 6.3 Diagrama de flujo del algoritmo de colocación de departamentos

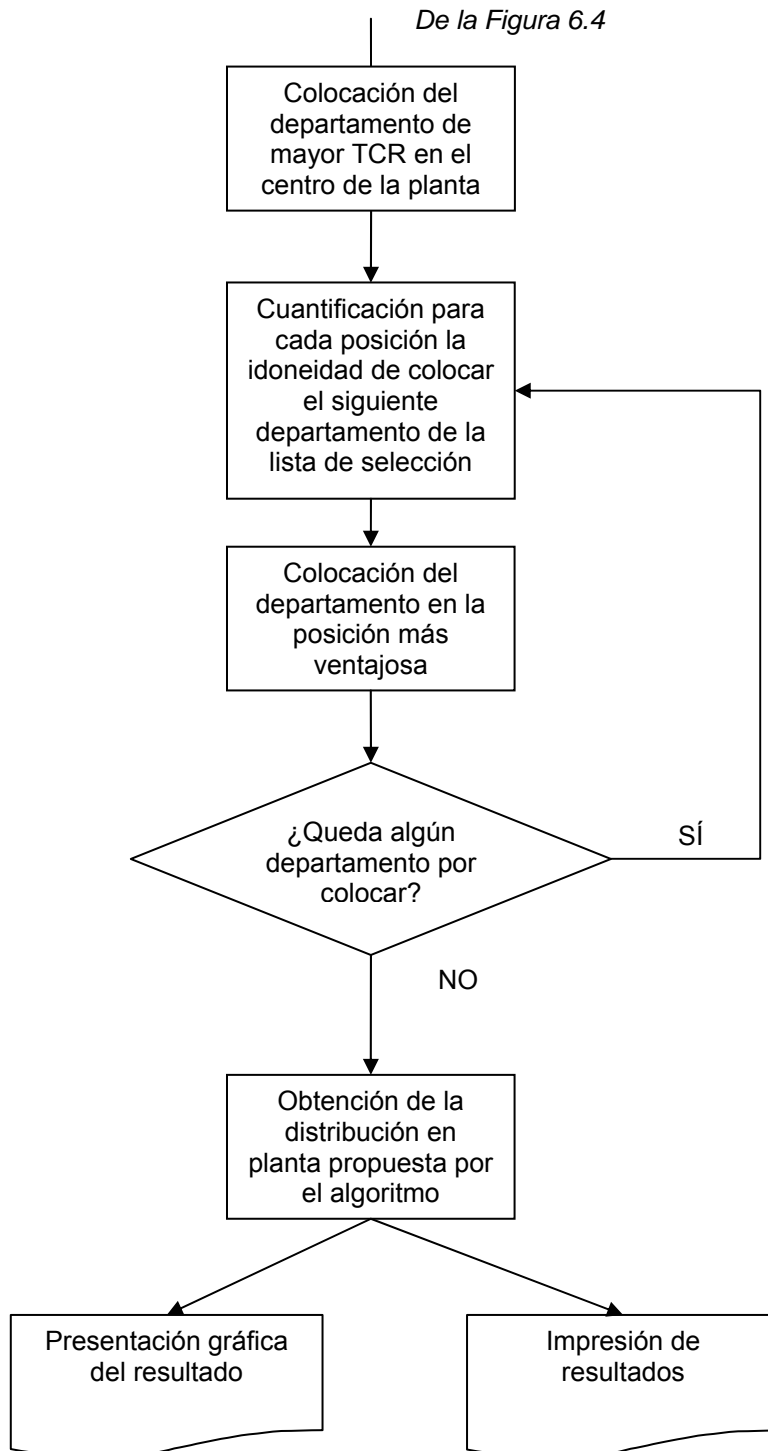


Figura 6.8 Diagrama de flujo de la colocación de departamentos.

Del segundo diagrama de flujo (figura 6.4) se había obtenido el orden con el que los departamentos deben ser colocados en la distribución en planta.

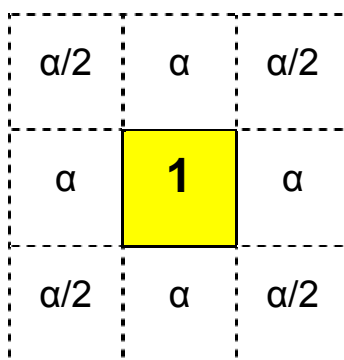
En este apartado el objetivo es colocar los departamentos en la posición más adecuada en el orden que se había determinado.

El algoritmo hace un tratamiento discreto del espacio, todos los departamentos se consideran de un mismo tamaño y con la misma forma: cuadrada.

Este tipo de tratamiento da una visión limitada de cual será la distribución en planta sobre el terreno pero es muy útil si lo que se quiere es saber las posiciones relativas entre departamentos, estudiar cual es la relación de proximidad que se debe guardar o cuales son los departamentos que se deben colocar más próximos o más distantes.

El primer departamento que debe ser colocado es aquel que tiene mayor TCR y se ubicará en el centro de la distribución.

A continuación se evalúan todas las posiciones en torno al departamento colocado. En el caso del segundo departamento hay 8 posibles emplazamientos entorno al primer departamento. Se toma como convención que las posiciones que sean perpendiculares a las caras del departamento colocado tienen prioridad sobre las posiciones que no cumplan esta condición. Para atender a esta preferencia el algoritmo penaliza las posiciones no perpendiculares a las caras del departamento en estudio dividiendo los coeficientes de afinidad por dos. Ver figura 6.9 donde  $\alpha$  es la afinidad entre los departamentos.



*Figura 6.9 Valoración en afinidad de las posiciones entorno a un departamento colocado.*

Como curiosidad y para saber interpretar mejor los resultados hay que tener en cuenta que el algoritmo busca la mejor posición recorriendo las posibilidades de arriba abajo y de izquierda a derecha. Esto quiere decir que a igualdad de coeficiente de afinidad el algoritmo seleccionará la posición más a la derecha y después la que esté en la parte más baja.

Para el tercer y sucesivos departamentos la forma en que se colocarán será semejante a como se ha hecho con el segundo departamento salvo en que las afinidades y las posiciones hay que tenerlas en cuenta no con un solo departamento como en el caso anterior sino con todos los departamentos que ya hayan sido colocados previamente.

Los pasos descritos se realizarán hasta que no quede ningún departamento por colocar. Debe recordarse que en este paso solo se está procediendo a colocar los departamentos en el mejor emplazamiento posible en el orden que previamente se había calculado.

El programa nos presenta los resultados de la distribución en planta en pantalla y también nos da la posibilidad de realizar una impresión de los resultados.

El código utilizado para la colocación de los departamentos es el que se muestra en la figura 6.8 en el que las variables utilizadas son:

- t1: matriz que representa los espacios disponibles de planta para colocar los departamentos.
- Y1: matriz que almacena las coordenadas de los departamentos que han sido colocados.
- i3, j3, n3, ao, bo, ro, vo, wo: variables que almacenan datos durante las iteraciones.
- k: número de departamentos de la distribución.
- mla: matriz de la que se toman los valores de los coeficientes de afinidad entre los departamentos.
- cad: variable tipo cadena que almacena datos para la impresión en cuadro de texto.

Desarrollo de una herramienta informática basada en el algoritmo CORELAP  
para la optimización de distribuciones en planta

```
'Colocamos en el centro de la distribución en planta el primer departamento de la lista
t1(Int(a / 2), Int(a / 2)) = -1E+42
Y1(1, 1) = Int(a / 2)
Y1(2, 1) = Int(a / 2)

For k = 2 To a 'comenzamos las iteraciones de colocación de departamentos
'hacemos cero todos los elementos de la matriz en la representamos las posiciones de los departamentos
For i = 1 To a
For j = 1 To a
t1(j, i) = 0
Next
Next
'ponderamos todas las posiciones con los coeficientes de afinidad entorno a los departamentos colocados. Se penalizan las posiciones no
'perpendiculares a las caras de los departamentos.
For n = 1 To k - 1
For i3 = 1 To 3
For j3 = 1 To 3
If i3 = 2 Or j3 = 2 Then
t1(Y1(1, n) + j3 - 2, Y1(2, n) + i3 - 2) = t1(Y1(1, n) + j3 - 2, Y1(2, n) + i3 - 2) + mla(va(k) + 3, va(n))
Elseif i3 = j3 Then
t1(Y1(1, n) + j3 - 2, Y1(2, n) + i3 - 2) = t1(Y1(1, n) + j3 - 2, Y1(2, n) + i3 - 2) + 0.5 * mla(va(k) + 3, va(n))
Elseif i3 = 1 And j3 = 3 Then
t1(Y1(1, n) + j3 - 2, Y1(2, n) + i3 - 2) = t1(Y1(1, n) + j3 - 2, Y1(2, n) + i3 - 2) + 0.5 * mla(va(k) + 3, va(n))
Elseif i3 = 3 And j3 = 1 Then
t1(Y1(1, n) + j3 - 2, Y1(2, n) + i3 - 2) = t1(Y1(1, n) + j3 - 2, Y1(2, n) + i3 - 2) + 0.5 * mla(va(k) + 3, va(n))
End If
Next
Next
Next
'damos valores muy bajos a las posiciones ocupadas por los departamentos para que el algoritmo considere estas posiciones como no
'seleccionables.
For i3 = 1 To a
t1(Y1(1, i3), Y1(2, i3)) = -1E+42
Next
-----Continúa en Figura 6.9-----
```

Figura 6.8 Código de programa para la colocación de departamentos.



Desarrollo de una herramienta informática basada en el algoritmo CORELAP  
para la optimización de distribuciones en planta

-----Viene de la Figura 6.8-----

'ahora recorremos la matriz t1 buscando la coordenada con mayor peso para colocar el departamento que toca en cada iteración

```
For ro = 1 To a
For so = 1 To a
  vo = t1(ro, so)
  ao = ro
  bo = so
For uo = 1 To a
For wo = 1 To a
  If vo <= t1(uo, wo) Then
    vo = t1(uo, wo)
    ao = uo
    bo = wo
  End If
Next
Next
Next
Next
```

'almacenamos las coordenadas del departamento recién colocado en la matriz Y1

```
Y1(1, k) = ao
```

```
Y1(2, k) = bo
```

'Indicamos

'Indicamos sobre la matriz la posición que va a ocupar el departamento recién ubicado

```
t1(ao, bo) = -1E+42
```

'presentamos los datos en cuadro texto solo si se ha activado la casilla correspondiente del formulario del programa

```
If Form4.Check1.Value = 1 Then
```

```
Form3.Text5.Text = Form3.Text5.Text & Space(2) & vo
```

-----Continúa en Figura 6.10-----

Figura 6.9 Código de programa para la colocación de departamentos.

Desarrollo de una herramienta informática basada en el algoritmo CORELAP  
para la optimización de distribuciones en planta

-----Viene de la Figura 6.9-----

'Preparación e impresión de los datos en el cuadro de texto del formulario de iteraciones.

```
Dim cad As String
For i = 1 To a
'fila
For j = 1 To a
If Len(t1(j, i)) > 6 Then
cad = Mid(t1(j, i), 1, 6) & Space(2)
Else
cad = t1(j, i) & Space(2 + 6 - Len(t1(j, i)))
End If
Form3.Text3.Text = Form3.Text3.Text & cad
Next
Form3.Text3.Text = Form3.Text3.Text & vbCrLf
Form3.Text4.Text = Form3.Text4.Text & Y1(1, i) & Space(3) & Y1(2, i) & vbCrLf
Next
Form3.Text3.Text = Form3.Text3.Text &
"
" & vbCrLf
Form3.Text4.Text = Form3.Text4.Text & "___" & vbCrLf
'
End If
Next
```

Figura 6.10 Código de programa para la colocación de departamentos.

## 6.4 Manual de usuario

Como documento anexo a la presente memoria se adjunta el “Manual de usuario” de la aplicación “CORELAP 01”.

En este documento se explican los funcionamientos de la interfaz gráfica del programa con algoritmo explicado en este apartado. Se muestra qué datos y cómo introducirlos en el programa además de cómo interpretar los resultados del programa con un sencillo ejemplo representativo.

## 7. CONCLUSIONES

Como se adelantó en el apartado “Objeto del proyecto” la temática de las distribuciones en planta tiene una gran importancia y es una de las decisiones estratégicas de una empresa. Una vez que se decide el tipo de distribución en planta que va a tener la organización, normalmente al comienzo de la vida de la misma, es muy costoso y en ocasiones imposible su modificación.

Las decisiones de implantación en base a la experiencia es una práctica habitual en las empresas pero los sistemas industriales cada vez más complejos y el gran número de factores a tener en cuenta obligan a los diseñadores a utilizar herramientas informáticas que les ayuden en esta tarea.

En este contexto el algoritmo CORELAP desarrollado por Lee y Moore en 1967 se presenta como una buena herramienta. El programa “CORELAP 01” implementa este algoritmo ayudando al diseñador a visualizar la distribución en planta que surge de las necesidades de proximidad consideradas en el diseño.

En la actualidad no existen muchas herramientas comerciales que permitan diseñar distribuciones en planta, lo que ha motivado la realización del programa CORELAP 01. Aunque el algoritmo CORELAP data ya de algún tiempo, con los ejemplos de este documento se muestra la gran utilidad que tiene el programa para los diseñadores de distribuciones en planta.

El hecho de que los datos que se deben introducir en el programa, “las necesidades de proximidad” sean de origen cualitativo, convierten al programa en muy flexible. El programa no tiene un algoritmo cerrado que trabaja solamente con cantidades de flujos interdepartamentales, distancias entre los mismos, etc. El diseñador puede establecer las relaciones entre los departamentos basándose en multitud de variables cuantitativas y después plasmarlas en las variables discretas que posee el programa y a las que él mismo puede asociar un valor.

Por ejemplo, para el caso de flujos interdepartamentales, el diseñador lo que debería hacer es discretizar las cantidades de flujo y asignar las variables A, E, I, O, U, X a la relación entre cada dos departamentos dependiendo de

que el flujo entre los mismos sea, teniendo en cuenta al conjunto, elevado o escaso.

El tipo de tratamiento explicado para una variable cuantitativa como son los flujos interdepartamentales se puede aplicar para otro tipo de variables cuantitativas. El hecho que hace muy potente al programa es que el diseñador puede considerar una multitud de variables cuantitativas a la misma vez que deberá plasmar de forma discreta en el programa, asignando a cada constante del programa el valor que mejor favorezca las relaciones más deseadas. En el caso de los flujos interdepartamentales, si lo que interesa es que el programa "CORELAP 01" prime la proximidad de cada par de departamentos que tienen mucho flujo interdepartamental y desprece las relaciones entre los que tienen menos flujo, se puede conseguir dando un valor a la constante "A" muy alto y valores más bajos a las demás variables. Con esto se consigue que los departamentos que tienen flujo máximo entre sí estén normalmente juntos y que los demás se adapten a las posiciones que éstos adopten.

El hecho de que las distribuciones en planta no sean una ciencia exacta, porque entre otros factores, no hay ningún algoritmo que pueda considerar todas las variables cuantitativas que pueden o podrían afectar en la decisión sobre el tipo de distribución, hacen de un algoritmo cualitativo una buena herramienta de trabajo.

El programa "CORELAP 01" es por tanto un útil adecuado para ayudar en la toma de decisiones sobre el tipo de distribución a establecer, utiliza una interfaz sencilla y muy clara para el usuario y proporciona resultados prácticos.

## Bibliografía:

1. Francis, R.L., McGinnis, L.F. and White, J.A., *Facility Layout and Location: An Analytical Approach*, Prentice-Hall, 2<sup>nd</sup> edition, 1992.
2. Heizer, J., Render, B., *Production and operations management: strategies and tactics*, Allyn and Bacon (Boston), 4<sup>th</sup> edition, 1996.
3. Chase, Richard B., *Production and operations management: manufacturing and services*, McGraw-Hill series, 8<sup>th</sup> edition, 1998.
4. Grau Pascual, Salvador, *Técnicas de implantación*, Universidad Politécnica de Valencia, 1<sup>a</sup> edición, 1992.
5. Browne, J., Harhen, J., Shivnan, J., Spencer, M.S., *Production Management systems: an integrated perspective*, Addison-Wesley (Harlow, England), 2<sup>nd</sup> edition, 1996.