

# Una propuesta para la autoevaluación de layouts en la asignatura Oficina Técnica y Proyectos

Lucía Díaz-Vilariño\*<sup>a</sup>, José Luis González-Cespón<sup>a</sup>, José Antonio Alonso-Rodríguez<sup>a</sup>, Antonio Fernández-Álvarez<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Universidad de Vigo. Departamento de Diseño na Enxeñaría. Escola de Enxeñaría Industrial, Campus universitario de Vigo, As Lagoas, Marcosende 36310 Vigo, Spain. {lucia, epi, jaalonso, antifdez}@uvigo.es

## RESUMEN

La distribución y organización espacial de espacios funcionales y/o instalaciones es un problema de optimización ampliamente conocido, no solo por su multitud de aplicaciones sino también por las implicaciones económicas que acarrea. Dada su importancia, el diseño y optimización de distribuciones en planta *-layouts-* constituye uno de los principales objetivos de aprendizaje de la asignatura *Oficina Técnica y Proyectos* de los grados de Ingeniería de la rama industrial. Dada la variabilidad de soluciones que se pueden obtener a la hora de distribuir espacios funcionales en plantas, este trabajo plantea el desarrollo de un método de autoevaluación de *layouts*, basado en la comparación entre un grafo de espacios y relaciones extraído automáticamente a partir de diseños CAD y un grafo objetivo dado por la solución óptima. De esta forma se busca que el alumnado pueda evaluar el grado de cumplimiento de las especificaciones del proyecto, posibilitando la detección temprana de errores.

**Palabras clave:** optimización, diseño de plantas industriales, análisis de grafos, jerarquización, evaluación cuantitativa

## 1. INTRODUCCIÓN A LA DISTRIBUCIÓN DE PLANTAS INDUSTRIALES

El diseño de plantas productivas, en inglés *Facility Layout Problem* (FLP), es un problema de optimización ampliamente conocido y que consiste en la distribución y organización espacial de recursos, típicamente espacios funcionales y/o instalaciones.

Los problemas de distribución espacial han sido ampliamente investigados debido a la multitud de aplicaciones que presentan, desde la distribución de actividades en ciudades, hasta la ubicación de espacios funcionales en centros comerciales o edificios [1,2], pasando por la localización de equipos y personal en planta [3] o mismo por el diseño de circuitos impresos [4]. Dentro de este amplio rango de usos, los problemas de distribución espacial han sido estudiados, en su mayoría, para la resolución de problemas de distribución de plantas industriales. Cabe señalar que los costes de manejo de materiales constituyen del 20 al 50% del total de costes operativos en entornos industriales [5], y estos pueden ser considerablemente reducidos a partir del diseño de una configuración en planta eficiente.

Lamentablemente, los problemas de diseño de plantas son complejos debido a la multitud de parámetros que interfieren en un buen diseño. En su mayoría estos problemas tienen una complejidad computacional de la clase *NP-hard* – clase de complejidad difícil-, por lo que su resolución es muy costosa. En todo caso, como consecuencia de su interés y de su relevancia económica, se han destinado grandes esfuerzos a la investigación de esta problemática en las últimas décadas [3,6,7].

Desde un punto de vista general, el problema del diseño de plantas puede ser subdividido a su vez, en dos grandes retos: el modelado del problema, y la resolución del problema. Mientras que el modelado del problema se refiere a las características estructurales del mismo y a como éste se formula, la resolución del problema se centra en los métodos y algoritmos empleados para resolver la optimización. El marco en el que se estructura y formula un problema influye notablemente en la selección del método de optimización.

El modelado del problema está definido, por un lado, por las características estructurales del mismo que son aquellas relacionadas con la configuración del proceso productivo, el estado de la configuración, la función objetivo y la

representación del espacio. Con respecto a la resolución del problema, algunos métodos están orientados a la búsqueda de una optimización exacta, si bien estos métodos solo son válidos para formulaciones muy simples. La inmensa mayoría de formulaciones se corresponden con problemas del tipo *NP-hard* por lo que la mayor parte de investigación está centrada en la implementación de métodos de optimización heurísticos o metaheurísticos.

La complejidad de este tipo de problemas, y la especificidad de las soluciones propuestas, hace que, paralelamente, se hayan creado metodologías que simplifican la resolución de distribuciones en planta a partir de criterios cualitativos. Prueba de ello es el muy utilizado *Systematic Layout Planning* (SLP) [9], o el Método GC utilizado en la docencia de Oficina Técnica y Proyectos de la Universidad de Vigo [8].

Dada la variabilidad de configuraciones correctas, en este trabajo se presenta una herramienta que permite el análisis automático de las soluciones planteadas por el alumnado en base a la conversión de los *layouts* en grafos.

El resto de este artículo se estructura como sigue. La sección 2 explica de forma resumida el método de distribución de plantas utilizado en la docencia de *Oficina Técnica y Proyectos*, de la Escuela de Ingeniería Industrial de Vigo, y las instrucciones que el alumnado debe seguir a la hora de crear sus *layouts*. A continuación, la sección 3 muestra los resultados de la extracción automática de grafos de relaciones a partir de las distribuciones de plantas en formato .dwg y, por último, la sección 4 se destina a resumir las principales conclusiones extraídas de este trabajo.

## 2. LA CREACIÓN DE *LAYOUTS*

### 2.1 Introducción al método utilizado

Como ya se ha mencionado, la creación de distribuciones en planta es parte indispensable de los contenidos de la materia de Oficina Técnica y Proyectos dentro de los grados de Ingeniería de la rama industrial. El método mayormente utilizado en la Universidad de Vigo es el Método GC [8], un método que permite la distribución de espacios funcionales en plantas industriales basado en la jerarquización de zonas funcionales, y restricciones.

En líneas generales, la primera fase del método consiste en la definición de especificaciones funcionales para la planta a partir de la definición del proceso. Estas especificaciones vienen dadas por el proceso, o los procesos productivos que se desean ubicar. En la segunda fase se identifican los espacios necesarios para cumplir las especificaciones funcionales y se establece una jerarquía que refleje la importancia relativa de los diferentes espacios, desde el punto de vista productivo, en la actividad prevista para la planta. A continuación, se definen las relaciones más relevantes, desde el punto de vista, entre espacios que garanticen el buen funcionamiento de la actividad. Por último, se identifican las diferentes restricciones que condicionan su funcionamiento. La ubicación de los diferentes espacios funcionales comienza, precisamente, por aquellos espacios con una mayor priorización de acuerdo con la jerarquía establecida.

La estructura formada por los espacios, relaciones y restricciones puede representarse mediante un grafo. Éste, a su vez, puede formalizarse mediante una matriz cuadrada y simétrica en la que las filas y columnas representan los diferentes espacios que componen el *layout*, y los elementos no nulos indican la existencia de una relación o conexión entre los espacios correspondientes. Este grafo –o la matriz de adyacencia asociada– constituye el *layout* de referencia con el que se compararán los diseños realizados por el alumnado para su evaluación.

### 2.2 Instrucciones para la creación de *layouts*

La comparación entre el *layout* objetivo y los trabajos realizados por el alumnado se realiza automáticamente mediante la aplicación *layout2graph.py* desarrollada en lenguaje Python por el profesorado del Área de Expresión Gráfica en la Ingeniería. Los *layouts* propuestos por el alumnado deben presentarse como un archivo .DWG (dibujado con el programa AutoCAD) y reunir una serie de características para que la aplicación pueda extraer el grafo de relaciones de forma totalmente automática. El principal requisito es que la información del *layout* debe estar organizada en capas, y contener al menos las siguientes: *BORDERS* (cian), *DOORS* (magenta), *NAMES* (rojo), *INNER\_WALLS* (verde), *OUTER\_WALLS* (amarillo) y *TEMP* (negro). Para facilitar la identificación de los elementos de las diferentes capas cada una de ellas se representa empleando los colores indicados entre paréntesis.

- **BORDERS**

La capa *BORDERS* representa las fronteras entre zonas diferentes que no están separadas por una barrera física. Esto es de vital importancia cuando se desean representar distintos espacios funcionales dentro de un mismo espacio físico, como por ejemplo la zona de reparación y la zona de recepción en un taller de coches. Cada elemento de la capa *BORDERS* debe estar formado por un único objeto (línea, arco, polilínea, etc.) y únicamente debe conectar dos espacios. Si esta premisa no se cumple, el grafo generado será incorrecto. En la Figura 1 se pueden ver ejemplos de bordes correctos e incorrectos. Por ejemplo, el borde BD es incorrecto porque una misma entidad está en contacto con más de dos espacios – espacio 8 y espacio 2-.

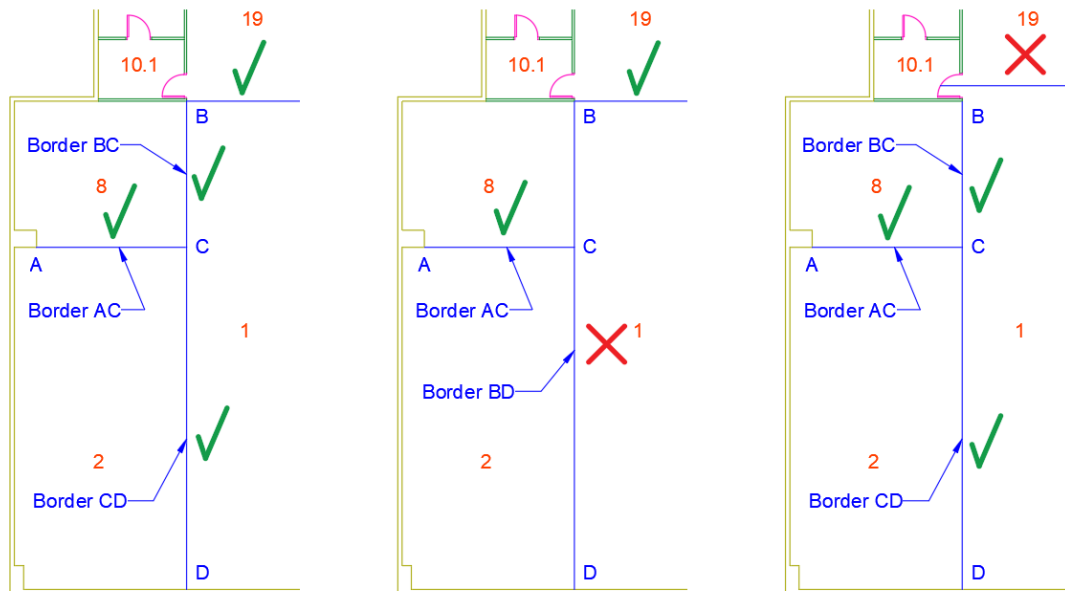


Figura 1. Los bordes correctos se visualizan en verde, y los bordes incorrectos en rojo

- **DOORS**

Cada elemento de esta capa representa una puerta, que típicamente estará formada por diversos objetos, como líneas, arcos, etc. Para su correcta interpretación, todos los elementos que formen una puerta deberán estar agrupados en una sola entidad mediante el comando *GROUP*.

- **NAMES**

Esta capa está reservada para elementos de texto (de línea simple o múltiple) que identifican de manera única a las diferentes zonas y espacios del layout.

- **INNER\_WALLS**

La capa *INNER\_WALLS* se destina a los tabiques interiores de la instalación. Cuando dichos tabiques se representan mediante líneas dobles, los extremos de las líneas en contacto con las puertas deben unirse mediante otra línea, tal como se muestra en la Figura 2-centro. No es necesario unir los extremos de las líneas que coinciden con las paredes exteriores.

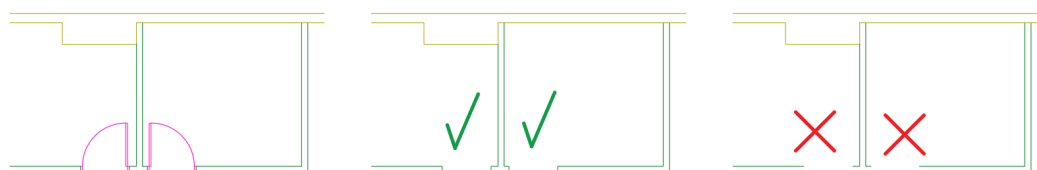


Figura 2. Las líneas en contacto con las puertas deben unirse creando un contorno cerrado.

En la medida de lo posible se debe evitar la presencia de elementos solapados. Más concretamente, las líneas de las paredes interiores no deben superponerse con las de las exteriores. En el ejemplo mostrado en la Figura 3, se muestra como en caso de adyacencia entre una pared exterior y una pared interior, los bordes no deben solaparse siendo necesario eliminar uno de ellos (Figura 3).

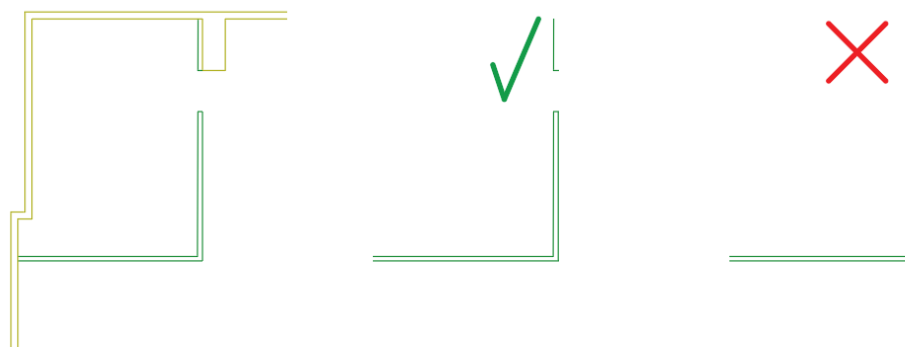


Figura 3. Las líneas de paredes interiores no deben superponerse con las de exteriores.

- **OUTER\_WALLS**

La capa OUTER\_WALLS se destina al contorno exterior de la instalación y debe formar una región perfectamente cerrada. En este ejemplo, el dibujo de la derecha no sería válido porque el contorno se interrumpe en la zona de ubicación de la puerta de acceso (Figura 4).

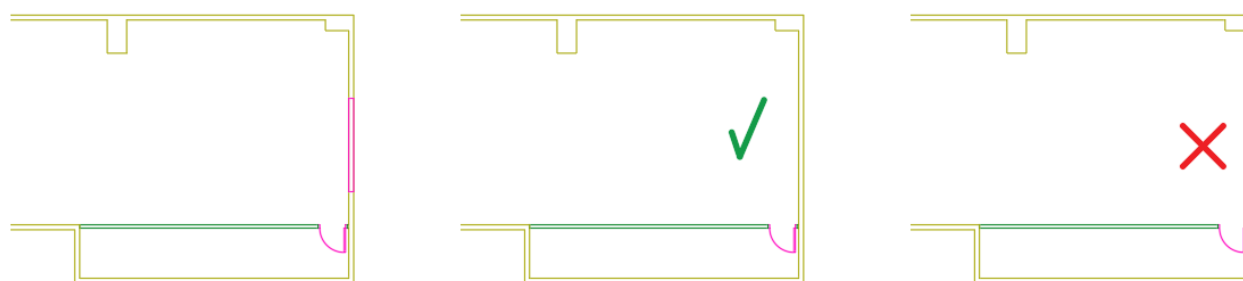


Figura 4. El contorno exterior de la planta debe formar una región perfectamente cerrada.

- **TEMP**

La capa TEMP es opcional. Si no existe, el programa la añade automáticamente. Durante la ejecución del programa se utiliza para crear contornos cerrados (mediante el comando -BOUNDARY) e intersecarlos con líneas rectas que unen dos espacios diferentes.

### 2.3 La zonificación de espacios

En este contexto, un espacio (o una zona) es una región cerrada del dibujo que está delimitada por paredes (interiores o exteriores) y por elementos de enlace (puertas o bordes). Cada zona o espacio se identifica mediante un nombre (elemento de texto) cuyo punto de inserción debe estar situado dentro de la región correspondiente. Es imprescindible que los dibujos sean precisos. En particular, las zonas y espacios deben representarse mediante regiones perfectamente cerradas porque de lo contrario el grafo obtenido será incorrecto.

Las diferentes zonas y espacios se designan mediante un número entero (Tabla 1). Cuando existen varios espacios con la misma denominación se añade una parte decimal al número entero para poder distinguirlos. Por ejemplo, si un layout incluye dos pasillos, en el dibujo debemos poner 20.1 y 20.2. Si hay tres aseos, la forma correcta de identificarlos será 9.1, 9.2 y 9.3.

Tabla 1. Un ejemplo de codificación de espacios.

Nº	Name	Nombre
1	Production Transformation	Producción Transformación Trabajo
2	Warehouse Storage Store Stock	Almacén Almacenamiento
3	Parking	Estacionamiento
4	Reception	Recepción
5	Delivery	Entrega

### 3. RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados de la evaluación automática de un par de *layouts* elaborados por el alumnado de la asignatura Oficina Técnica y Proyectos de cuarto curso del grado en Ingeniería Mecánica de la Escuela de Ingeniería Industrial de la Universidad de Vigo.

El trabajo consistía en diseñar la distribución en planta de un taller cuya actividad principal es la transformación de furgonetas en autocaravanas. La figura 5 muestra el grafo objetivo, mientras que las figuras 6.a y 6.b muestran las soluciones propuestas por dos grupos de estudiantes, y las figuras 7 y 8 muestran los grafos correspondientes. Estos grafos –tanto los completos como los reducidos– los genera automáticamente la aplicación `layout2graph.py` a partir de los archivos `.DWG`. A la izquierda se muestra el grafo completo, es decir, el grafo que contiene todas las relaciones representadas en el diseño, mientras que, a la derecha, se muestra el grafo simplificado, en donde varios espacios con la misma denominación se fusionan en un único espacio, y en el que se descartan aquellos espacios no contemplados en el grafo objetivo que modela el proceso productivo de la planta.

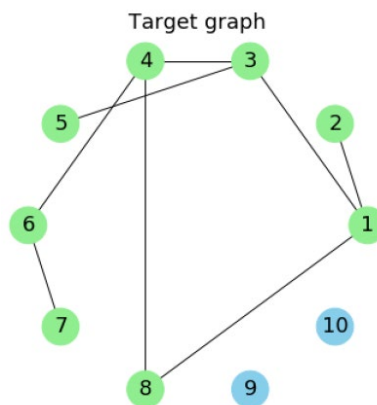


Figura 5. Grafo objetivo

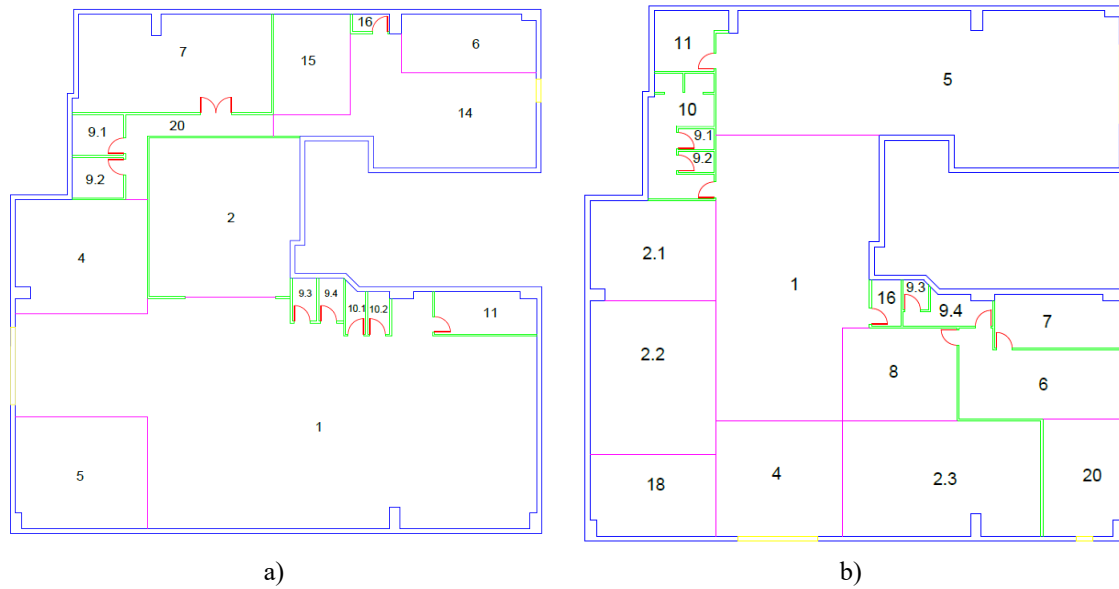


Figura 6. Soluciones propuestas por dos grupos de estudiantes.

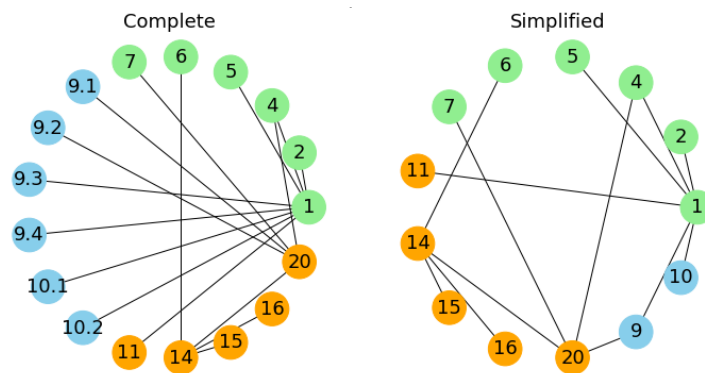


Figura 7. Grafos automáticamente extraídos del diseño representado en la Figura 5.a.

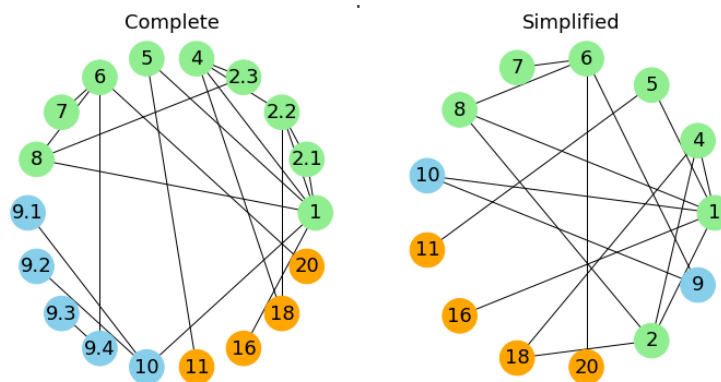


Figura 8. Grafos automáticamente extraídos del diseño representado en la Figura 5.b.

#### 4. CONCLUSIONES

El diseño de distribuciones en planta es uno de los principales objetivos de aprendizaje de la asignatura Oficina Técnica y Proyectos de los grados de Ingeniería de la rama industrial. En este trabajo se propone un método de autoevaluación de *layouts* basado en una aplicación informática que genera automáticamente un grafo de espacios y conexiones a partir de un plano dibujado con AutoCAD. A partir de la similitud entre el grafo generado y el grafo objetivo u óptimo el alumnado podrá evaluar el grado de cumplimiento de las especificaciones del proyecto, y por tanto, la bondad de su diseño. La utilización de una herramienta de estas características tiene importantes ventajas, como la detección temprana de errores (y el consiguiente incremento de eficiencia en el proceso de diseño), una menor necesidad de tutorización, uniformización de los criterios de evaluación y potenciación de un aprendizaje profundo a partir de la evaluación crítica de soluciones propias.

En un futuro inmediato tenemos previsto extender el método propuesto en dos direcciones principales. La primera de ellas consiste en la búsqueda de una métrica adecuada que nos permita determinar el grado de similitud entre grafos de forma cuantitativa, con el objetivo de eliminar cualquier componente subjetiva del proceso de evaluación. El segundo desarrollo pretende modificar la aplicación informática para que el grafo generado a partir de los planos refleje no solamente los espacios y sus conexiones, sino también las restricciones existentes –tales como la ubicación de bajantes, accesos, etc.– o las dimensiones reales de los diferentes espacios.

#### REFERENCES

- [1] Lin, Q., Liu, H., Wang, D. et al. “Integrating systematic layout planning with fuzzy constraint theory to design and optimize the facility layout for operating theatre in hospitals”. *J Intell Manuf* 26, 87–95 (2015).
- [2] Helber, S., Böhme, D., Oucherif, F. et al. “A hierarchical facility layout planning approach for large and complex hospitals”. *Flex Serv Manuf J* 28, 5–29 (2016).
- [3] Drira, A., Pierreval, H., Hajri-Gabouj, S., “Facility layout problems: A survey”. *Annu. Rev. Control.* 31(2), 255-267 (2007).
- [4] Raghavan, V.A., Yoon, S., Srihari, K. “Lean transformation in a high mix low volume electronics assembly environment”. *Int. J. Lean Six Sigma*, 5 (4), 342-360 (2014).
- [5] Francis, R. L., McGinnis, L. F., & White, J. A. “Facility layout and location: An analytical approach”. Pearson College Division (1992)
- [6] Liggett, R. S. “Automated facilities layout: past, present and future”. *Autom. Constr.* 9(2), 197-215 (2000).
- [7] Ahmadi, A., Saman Pishvae, M., Reza Akbari Jokar, M., “A survey on multi-floor facility layout problems”. *Comput. Ind. Eng.* 107, 158-170 (2017).
- [8] González-Cespón, J.L., Alonso-Rodríguez, J.A., “Método GC. Diseño y optimización de layouts”. Material docente de la asignatura de Oficina Técnica de la Escuela de Ingenieros Industriales de Vigo, (2019)
- [9] Muther, R. “Systematic layout planning”, Cahnern Books (1984)

