

APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE DECISIÓN MULTICRITERIO Y MULTIEXPERTO A LA PONDERACIÓN DE LOS FACTORES DETERMINANTES DEL PROBLEMA DE LA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA.

Autores: M.C. González Cruz^P, E. Gómez-Senent, M. García Melón, P. Aragonés Beltrán.

Departamento de Proyectos de Ingeniería. Universidad Politécnica de Valencia.

RESUMEN

La evaluación de las diferentes soluciones posibles a un problema de diseño de distribución en planta de una industria, es un problema multicriterio.

En el problema de la distribución en planta de instalaciones industriales, *“La selección del mejor layout, normalmente significa la selección del diseño que resulta más favorable en el compromiso entre los distintos objetivos que compiten”*. [R. L. Francis, J. A. White, 1974]. Esta fase del proceso de diseño, *la selección de la solución* del diseño, consiste en “medir” las alternativas a la solución, utilizando una serie de criterios y tomándolos como base de comparación.

El proceso de evaluación de alternativas no es un problema simple. De hecho, [Moore, 1962] afirma que es la parte más difícil del proceso de diseño del layout.

Además de la identificación de los criterios determinantes en la resolución del problema de la distribución en planta, es preciso tener en cuenta que cada criterio adquiere una relevancia distinta, por lo que se ha considerado interesante estudiar la importancia de cada uno de ellos, mediante el estudio de los juicios que, sobre los mismos, emiten expertos en este tema.

En la presente comunicación se ha realizado una revisión bibliográfica y un análisis de los métodos de ponderación de factores, referenciados en la bibliografía, y se ha optado por aplicar un método eigenpesos, concretamente el análisis mediante procesos jerárquicos de Saaty, y mediante la técnica AHP Expert Choice, ha sido posible integrar la experiencia de un conjunto de expertos sobre el problema, para finalmente, establecer la ponderación de los criterios de decisión en el problema de evaluación de posibles alternativas solución a la distribución en planta de instalaciones industriales.

ABSTRACT

The evaluation of the different solutions of an industry layout is a multicriteria problem, because it has several criteria in conflict. This design stage is based on the measuring of the different solution alternatives and therefore, several criteria have to be used as comparison basis. Some of these criteria are easy to quantify but there are also some that are difficult to measure.

In this paper a literature research related to criteria definition and weight assignment in layout selection been carried on, based on which, the AHP method has been selected.

Therefore a panel of experts has been constituted to support this task, the results of which are presented.

1. INTRODUCCIÓN

La búsqueda de soluciones alternativas para la solución al problema de diseño, conduce a determinar las especificaciones necesarias para cada una de ellas. En este sentido, es preciso tener en cuenta que la calidad de la solución final no tiene por que ser la mejor de todas las alternativas generadas en todas las especificaciones.

Muther referencia algunas técnicas útiles en la evaluación de alternativas como son:

1. *Listas de pros y contras*. (Exponiendo las ventajas y desventajas de cada una de ellas).
2. *Categoría (Ranking)*. Seleccionando los factores o consideraciones que se crea que son importantes para el layout, listarlos, y ordenar las alternativas en orden numérico para cada factor.
3. *Análisis de factores*. Cada factor tiene asignado un peso numérico y cada alternativa es enfrentada a cada factor. Cada alternativa se pondera y se escoge la mejor.
4. *Comparación de costes (Cost comparison)*. Todos los costes asociados a cada alternativa son identificados, además de los costes ahorrados en la producción. La alternativa más económica es la elegida.

Del estudio de estas propuestas se han obtenido algunas observaciones:

Las listas de pros y contras es probablemente la forma más sencilla de evaluar alternativas de layouts. Sin embargo, también es probablemente, la peor en cuanto a la certeza de los resultados.

El procedimiento de *ranking* tiene la propiedad de que todas las alternativas son comparadas frente al mismo conjunto de factores. Sin embargo este método puede presentar problemas si no se realiza un correcto estudio y selección de los factores más importantes, y se pasan por alto algunos factores que son fundamentales en el diseño de una distribución. *Francis & White* señalan a este respecto que este método presenta algunos defectos, entre ellos que la elección final de los diseños preferentes no se lleva a cabo fácilmente. Es necesario combinar este procedimiento con otro posterior, para poder realizar la elección final de la alternativa.

En el presente trabajo se ha considerado que realizando el análisis de factores influyentes o determinantes en la distribución y asignando pesos a cada factor, este proceso de evaluación y selección de alternativas es el más adecuado para el caso que se estudia. Además, deben ser incluidos tanto los factores cuantitativos como los cualitativos, por lo que es necesario estudiar en profundidad el tratamiento que se debe dar a estos factores para que la comparación de alternativas se haga de la forma más objetiva posible, ya que un punto débil del método sería la influencia que pudiera tener sobre el diseño resultante la falta de objetividad del proyectista a la hora de elegir correctamente los factores y asignar los pesos.

Por este motivo se ha realizado en la bibliografía un análisis de los métodos de ponderación de factores, encontrándose que es bastante frecuente que unos factores o criterios tengan para el proyectista, más relevancia que otros.

Según [Barba-Romero y Pomerol, 1997], las circunstancias son muy diversas. Dependerá del caso concreto en estudio, de factores externos que le condicionen (cliente, legislación,

etc.), su propia experiencia, y también están sus preferencias personales (que pueden objetivarse o pueden ser completamente subjetivas).

En cualquier caso, el proyectista puede considerar más o menos importante, la influencia de un factor respecto de los restantes. Precisamente, los *Pesos o Ponderaciones* reflejan estas medidas de la importancia relativa que los criterios tienen para un decisor.

Los valores que toman los pesos van a influir de forma determinante en los resultados de la decisión. Esta influencia de los valores que toman los pesos es una consecuencia directa del papel que juegan en la decisión multicriterio como indicadores de la importancia que el decisor atribuye a cada uno de los factores o criterios. Resulta, por tanto, indispensable el evaluar los pesos de forma que reflejen lo más fielmente posible, las preferencias del decisor. [Barba-Romero y Pomerol,1997].

De entre los diversos métodos de asignación de pesos, existen *métodos de asignación directa* y *métodos de asignación indirecta*, dentro de los cuales se encuentran los denominados *métodos eigenpesos*, entre los que destaca el del Análisis Jerárquico de Saaty, basados en comparaciones binarias de los criterios.

En el presente trabajo se ha optado por aplicar un método eigenpesos, concretamente el análisis mediante procesos analíticos jerárquicos de Saaty, para establecer la ponderación de los factores anteriormente identificados como influyentes o determinantes en el problema de la distribución en planta.

2. EL MÉTODO ANALÍTICO JERÁRQUICO DE ASIGNACIÓN DE PESOS.

Se conocen como métodos de eigenpesos a un conjunto de métodos de asignación de pesos basados en el cálculo del autovector dominante (dominant eigenvector) de una matriz de comparaciones binarias de los criterios. Se conocen algunos métodos precursores de éste, como el método DARE de Klee [1971], pero su principal representante es el ya clásico método AHP (Analytic Hierarchy Process) propuesto por Saaty a finales de los años 70.

En su aspecto más básico, el AHP se propone asignar un vector de pesos $w=[w_1, w_2, \dots, w_n]$ a los criterios de un cierto problema de decisión multicriterio. Para ello parte de comparar cada criterio i con cada criterio j , obteniendo unos valores a_{ij} que es posible agrupar en una matriz cuadrada de orden n : la llamada matriz de comparaciones binarias $A= [a_{ij}]$. La razón de comparar de dos en dos los criterios, es porque para el decisor es más fácil que compararlos todos a la vez.

Saaty ensaya cierto número de escalas de medida y justifica [Saaty 1980, 1997] la siguiente escala de medida para la estimación de los coeficientes a_{ij} :

a_{ij} adquiere los valores:	cuando el criterio i , al compararlo con el j es:
1	igualmente importante.
3	ligeramente más importante.
5	notablemente más importante.
7	demostrablemente más importante.
9	absolutamente más importante.

Si no fuese el criterio i más importante que el j sino al revés, se estima a_{ji} de acuerdo con lo anterior y se hace $a_{ij}=1/a_{ji}$

Algunos de los aspectos que justifican el uso de esta escala, son su amplio abanico de posibilidades (sin superar las 9 que se establecen como límite de valores que la mente humana puede simultáneamente contemplar), y el que las valoraciones sean números enteros, con incrementos unitarios de una valoración a otra. También se considera interesante señalar que el valor 1 es el valor de equivalencia y que cualquier criterio es igualmente importante que sí mismo, luego los coeficientes a_{ij} de la matriz A, (su diagonal principal), tendrán siempre valor 1.

Además, como siempre $a_{ji}=1/a_{ij}$, el decisor solo necesita evaluar la parte supratrangular de A (es decir, aquellos $1/2n(n-1)$ elementos a_{ij} ($j>i$) que están por encima de la diagonal principal).

El método AHP tiene una sólida fundamentación teórica, basada en Teoría de Grafos. Una ventaja de utilizar este método es que, el método detecta y acepta, dentro de ciertos límites la incoherencia de los decisores humanos, y además permite emplear de forma natural una jerarquización de los criterios, cosa que no pueden hacer los métodos que exigen comparaciones globales de las alternativas [Vargas, 1989].

3. ANÁLISIS FACTORIAL MEDIANTE PROCESOS ANALÍTICOS JERÁRQUICOS.

La técnica de las jerarquías analíticas fue propuesta por Saaty [1980, 1997], y su cometido es el de ordenar las alternativas de decisión a partir del establecimiento de comparaciones binarias entre objetivos, criterios o alternativas-criterios en función de lo que se desee jerarquizar en cada momento.

En general, cuando un proyectista aborda un proyecto, ha de resolver un problema complejo, compuesto de numerosos subproblemas, relacionados entre sí. La solución de cada uno de estos subproblemas –y la distribución en planta se puede considerar uno de ellos–, constituye, a su vez, un sistema complejo, ya que dicha solución está compuesta por un conjunto de elementos también relacionados entre sí.

Por otro lado, y dado el entorno, también complejo, en el que se encuentran los problemas proyectuales, y en el que existen numerosos y diversos factores relacionados entre sí y que van a afectar a la consecución de los objetivos planteados, resulta esencial, identificar cuales son los factores más importantes, así como determinar el grado o intensidad de la relación existente entre ellos, tal y como se ha expuesto anteriormente.

De entre todos estos factores, algunos de ellos como los de tipo social, político, u otros de carácter cualitativo, resulta difícil evaluarlos en términos de medidas físicas o económicas, pero sin embargo, es necesaria su cuantificación, para establecer prioridades o grados de importancia entre ellos, y de este modo completar el análisis factorial del problema. De entre los diferentes métodos que pueden resultar de ayuda al proyectista a este respecto, el proceso Analítico Jerárquico, concretamente, ofrece un enfoque matemático que ayuda a determinar las prioridades entre atributos y factores.

Conviene tener en cuenta, además, que el ser humano, (factor humano), en el análisis de los factores, y en el establecimiento de prioridades entre ellos, emite juicios que dependen de la lógica, la intuición y la experiencia propias, y a través de estos juicios, se introducen inconsistencias. Por este motivo, es importante averiguar hasta qué punto se es inconsistente en los juicios emitidos.

El proceso analítico jerárquico está basado, fundamentalmente, en los aspectos de la naturaleza humana, el pensamiento analítico y la medida, y es un método útil para solucionar de forma cuantitativa los problemas. También permite probar la sensibilidad de la solución ante cambios en la información, así como verificar de forma simple la validez de la consistencia de los juicios.

Se ha considerado muy interesante la utilización de este tipo de procedimiento, puesto que éste constituye un apoyo al comportamiento y pensamiento natural, ya que refuerza y acelera los procesos de pensamiento de manera que se amplía la conciencia en el problema, y se incluyen más factores que los que se considerarían normalmente. T. Saaty lo define como un proceso de “racionalidad sistemática”, que permite considerar el problema como un todo y estudiar la interacción simultánea de sus componentes dentro de una jerarquía.

Este proceso analítico jerárquico consiste en descomponer una situación compleja, no estructurada, en sus partes o elementos constituyentes y ordenar estos elementos de una forma jerárquica, para poder asignarles a continuación unos valores numéricos a los mismos, tal y como se ha descrito anteriormente a través de la escala de valores enunciada, dependiendo, en numerosas ocasiones esos valores, de unos juicios o pensamientos subjetivos que el proyectista posee sobre la importancia relativa de cada uno de esos elementos (factores, variables o parámetros). De esta manera, el decisor establece las prioridades mediante comparación binaria con la escala antes mencionada, construyéndose una matriz con estos juicios, que constituye la matriz de valoración. A continuación se obtendrán los vectores de prioridad a través del autovalor máximo de la matriz de valoración.

Si el número de criterios es n , Saaty demuestra matemáticamente que n debe ser el autovalor máximo, de modo que se puede comprobar la consistencia de los juicios del decisor comparando el valor del autovalor máximo con n , que en el caso de ser completamente consistentes, habrán de ser iguales. En relación a esto, Saaty proporciona tablas de inconsistencia para medir ésta, pero también se admite la consideración del ratio de inconsistencia, definido por Saaty a partir del índice de consistencia y del índice aleatorio:

$$\text{Ratio de Consistencia} = \frac{\text{Índice de consistencia}}{\text{Índice de Consistencia Aleatorio}}$$

$$\text{Índice de Consistencia} = \frac{(I_{\max} - n)}{(n - 1)}$$

Admitiéndose que el juicio es consistente si el Ratio de Consistencia es inferior al 10%.

La aplicación que se ha realizado en el presente trabajo del método analítico jerárquico consiste en, una vez definidos los criterios de decisión necesarios para la evaluación de las alternativas solución generadas para el problema, se obtiene la ponderación de los mismos, de manera que, aplicando este método, se obtenga el vector de pesos con el análisis de inconsistencias anteriormente mencionado. La forma en que se ha operado es la siguiente:

- 1) Se definen los criterios de decisión.

- 2) Se jerarquizan los objetivos a cumplir por la solución.
- 3) Se construye la matriz de comparación que establece las prioridades entre criterios.
- 4) Se calculan los pesos de cada criterio y se comprueba la consistencia de los juicios en las operaciones realizadas.

A continuación se describe el proceso seguido para la obtención de los pesos de los criterios, siguiendo la técnica mencionada, así como los resultados obtenidos. El proceso se ha llevado a cabo en dos etapas: una primera en donde se analizan en la bibliografía los objetivos a cumplir por la distribución en planta objeto del diseño, así como el estudio de los factores a considerar para el cumplimiento de dichos objetivos. A partir de la identificación de estos objetivos, se han estructurado jerárquicamente éstos, de modo que a partir del análisis conjunto se pueda dar una propuesta más general de objetivos a cumplir por la distribución, estructurados jerárquicamente. Figura 1

En una segunda etapa se identifican los factores (criterios de diseño), cuya consideración contribuye al cumplimiento de los objetivos, y se ha preparado la documentación necesaria para su valoración, mediante juicios, por diferentes expertos. A partir de estas valoraciones, y mediante la aplicación informática Team Expert Choice, [Saaty, 1997], se han calculado los pesos de los criterios (factores fundamentales) a tener en cuenta en la generación de las diferentes alternativas solución para la distribución en estudio.

4. ESTRUCTURA JERÁRQUICA DE LOS OBJETIVOS DE LA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA.

Tal y como se ha analizado en trabajos precedentes, [González-Cruz, 2001], la recopilación de objetivos a cumplir por la distribución se representa, por su comodidad para la aplicación del método analítico jerárquico, mediante una estructura en diferentes niveles (estructura en árbol jerárquico). Figura 1

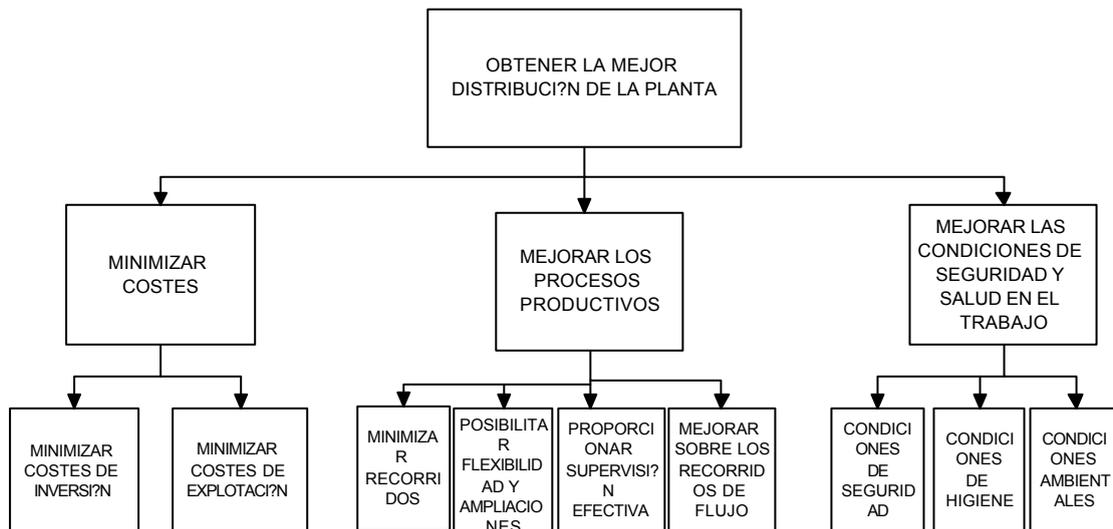


Fig.: 1. Jerarquizacion esquematica de objetivos.

5. APLICACIÓN DEL MÉTODO ANALÍTICO JERÁRQUICO PARA LA PONDERACIÓN DE CRITERIOS DE DECISIÓN EN UNA METODOLOGÍA DE AYUDA A LA RESOLUCIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA.

El método de jerarquías analíticas se ha aplicado en una doble vertiente:

- a) Averiguar cual es la consideración de diversos expertos sobre los atributos de los subsistemas o elementos de la planta, cuyo objeto es diseñar su distribución.
- b) Establecer una valoración sobre la importancia relativa de los diferentes criterios que contribuyen al cumplimiento de los objetivos de la distribución.

5.1. Ponderación de los atributos del subsistema.

Con el fin de determinar la dominación (o importancia relativa) de cada uno de los subsistemas (o elementos) que conforman la distribución en planta de una planta industrial, se trata de establecer una valoración, por parte de un conjunto de expertos, de los siguientes criterios:

1.- Espacio, [S].

Es un atributo del subsistema, y representa su tamaño. (Espacio físico que ocupa dentro del sistema distribución en planta).

2.- Flujo, [F].

Es la cantidad de materia, energía o información, (denominado, en general, operando), que se transforma en el interior del subsistema, pudiéndose dar cuatro clases de transformación u operaciones, en el subsistema: operaciones de proceso (cuando el operando sufre cambios internos de su estructura), operaciones de transformación (cuando el operando sufre cambios externos o de forma), operaciones de transporte (cuando el operando sufre cambios en el espacio y en el tiempo), y de almacenamiento (cuando el operando no sufre cambio de situación en el espacio, pero sí en el tiempo).

3.- Tiempo, [T].

Es el tiempo de actividad del subsistema en un periodo de trabajo (un día, un año, etc).

4.- Coste, [C].

Es el gasto total del subsistema, referido a un periodo. Este gasto incluye los costes de inversión, y de explotación que origina el funcionamiento normal de cada subsistema.

La determinación del orden por grado de importancia, de cada subsistema, está basada en los criterios anteriormente definidos, de modo que un subsistema es importante cuando ocupa mucho espacio, (valor elevado de [S]), procesa gran cantidad de flujo, (valor elevado de [F]), se mantiene durante mucho tiempo activo, (valor elevado de [T]), y su coste es elevado, (valor de [C] alto).

Dado que cada uno de estos atributos tienen un determinado valor en cada caso en estudio, resulta conveniente, para completar el análisis de factores, determinar el peso de cada uno de ellos, y por esto se plantea en la presente aplicación.

5.2. Forma de realizar las valoraciones comparativas entre los cuatro criterios.

Se utiliza la siguiente escala de valoración:

$a_{ij} = 1$, cuando se considera igualmente importante el criterio i y el criterio j .

$a_{ij} = 3$, cuando se considera ligeramente más importante el criterio i que el criterio j .

$a_{ij} = 5$, cuando se considera notablemente más importante el criterio i que el criterio j .

$a_{ij} = 7$, cuando se considera mucho más importante, o demostrablemente más importante, el criterio i que el criterio j .

$a_{ij} = 9$, cuando se considera absolutamente más importante el criterio i que el criterio j .

Teniendo esto en cuenta, la elaboración de la matriz de valoración consiste en realizar comparaciones binarias de los criterios, de modo que se les asigna los valores 1,3,5,7,9,

bajo las condiciones expresadas, o, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{7}$, $\frac{1}{9}$, bajo las condiciones contrarias.

5.3. Ponderación de los objetivos a cumplir por la distribución.

Desde otro punto de vista, como es desde el estudio de la función objetivo, en los problemas de distribución en planta de plantas industriales, se pretende determinar la importancia relativa de los objetivos a cumplir con el diseño de la distribución.

Para esto se plantea una estructura jerárquica de los objetivos, resultado de los estudios realizados en la bibliografía (fig.1).

Teniendo en cuenta el objetivo general, los objetivos principales y los subobjetivos planteados en la figura 1, se han valorado éstos por el mismo grupo de expertos.

A partir de los objetivos identificados, se establecen unos criterios que ayuden a “averiguar” en “qué medida un factor contribuye a cumplir un objetivo”, de manera que cada uno de los expertos emite juicios comparativos de los criterios presentados, realizándose las valoraciones de forma idéntica al caso anterior.

En el punto 5.4. se presentan las matrices que recogen las valoraciones del grupo de expertos, así como los resultados de la aplicación Team Expert Choice.

5.4. Aplicación del AHP a las valoraciones de los expertos.

Para la aplicación del método AHP, se ha utilizado la aplicación informática Team Expert Choice, [Saaty, 1997], que permite analizar las valoraciones de un grupo de expertos.

Para establecer la valoración de la importancia relativa entre los factores internos o atributos de cada subsistema de la distribución en planta, se ha constituido un grupo de expertos. Este grupo ha sido cuidadosamente seleccionado de forma que todos los miembros del grupo cumplen la condición principal de tener un alto grado de conocimiento y experiencia en el problema y resolución de la distribución en planta de plantas industriales.

Los expertos seleccionados son:

Juan Jaime Cano Hurtado. Dr. Ingeniero Industrial. Catedrático de Universidad del departamento de Ingeniería de la Construcción, en el área de Construcción y Arquitectura Industrial.

Antonio Hospitaler Pérez. Dr. Ingeniero Industrial. Catedrático de Universidad del departamento de Ingeniería de la Construcción, en el área de Construcción y Arquitectura Industrial.

Eliseo Gómez-Senent. Dr. Ingeniero Industrial. Catedrático de Universidad del departamento de Proyectos de Ingeniería.

Ernesto Cerveró Meliá. Ingeniero de Organización Industrial. Profesor del área de proyectos de ingeniería. Técnico del Excmo. Ayuntamiento de Cullera y experto en instalaciones.

Carlos Rivera Pérez. Ingeniero Industrial. Profesor del área de proyectos de Ingeniería y alto directivo de ALSTOM.

Pablo Ferrer Gisbert. Ingeniero Industrial. Profesor del departamento de Proyectos de Ingeniería y experto en proyectos de plantas industriales.

Francisco Javier Pellicer Climent. Ingeniero Industrial. Profesor titular del departamento de Ingeniería de la Construcción, en el área de Construcción y Arquitectura Industrial.

Las valoraciones dadas a los atributos Espacio ocupado, Flujo procesado, Tiempo de actividad y Coste (tabla 1), procesadas en la aplicación informática Team Expert Choice, proporcionan los siguientes pesos:

Atributo	Peso
S	0,14
F	0,335
T	0,173
C	0,352

Tabla 1. Pesos de los factores determinantes de la distribución en planta.

Cabe señalar que la aplicación Team Expert Choice proporciona los resultados de los cálculos realizados, así como el valor de la inconsistencia de los juicios emitidos por los expertos, dándose en este caso un valor de inconsistencia del grupo de 0.0, tal y como reflejan los resultados del anexo 1.

Asimismo, realizados los cálculos individuales de cada experto, los resultados obtenidos tienen valores de inconsistencia muy bajos, todos dentro del intervalo permisible.

Por otra parte, los resultados de las valoraciones de los objetivos a cumplir por la distribución aportan los siguientes pesos:

Criterio	Peso
Costes	0,408
Procesos Productivos	0,308
Condiciones de Seguridad y Salud	0,284

Tabla 2. Pesos de los objetivos de nivel 1.

Siendo los pesos locales (nivel 2 en la jerarquía), los siguientes:

Criterio	Peso
Costes de Inversión	0,129
Costes de Explotación	0,28

Tabla 3. Pesos de los objetivos de nivel 2.

Criterio	Peso
Recorridos de flujo	0,094
Flexibilidad	0,106
Supervisión	0,04
Flujos en proceso	0,068

Tabla 4. Pesos de los objetivos de nivel 2.

Criterio	Peso
Seguridad	0,133
Higiene	0,068
Condiciones Ambientales	0,083

Tabla 5. Pesos de los objetivos de nivel 2.

En este caso, los valores aportados en las tablas precedentes, son globales del grupo, cuyos resultados también tienen un valor de inconsistencia en los juicios emitidos de 0,0.

También se han calculado los pesos individuales, dándose los resultados en los márgenes de inconsistencia esperados.

6. CONCLUSIONES.

Del estudio realizado sobre los factores de la distribución se han obtenido las siguientes conclusiones:

El estudio de los factores resulta necesario e imprescindible en la actividad proyectual en general, y en la resolución de la etapa de distribución en planta en el caso particular que se ha planteado en el presente trabajo. Así lo pone de manifiesto la investigación realizada en la bibliografía: [M. Asimow, 1962], [S. Pugh, 1991], [Hubka y Eder, 1996], [Palh y Beith, 1996], [R. L. Francis y J. A. White 1974], [R. Muther, 1981], [E. Gómez-Senent, 1997].

Realizado el estudio sobre la dimensión Factores, se identifican aquellos factores más referenciados en la bibliografía relativa al problema de la distribución en planta y su resolución, teniendo en cuenta, además, que cada factor adquiere una relevancia distinta, por lo que se ha considerado interesante estudiar la importancia de cada factor, mediante el estudio de los juicios, que sobre los mismo, emiten expertos en este tema.

La ponderación de factores (en este caso, criterios de decisión), es uno de los aspectos que conlleva mayor subjetividad. El estudio realizado a través de los expertos, constituye uno de los puntos a destacar. Factores como la experiencia de cada experto en el tema, y otros factores, condicionan en gran medida los juicios al respecto. Una ponderación basada únicamente en la experiencia del proyectista puede ser válida en numerosas ocasiones, por lo que se considera que la metodología debe ser flexible en este aspecto. Cuando la experiencia no disminuye el grado de incertidumbre o sencillamente no se dispone de esa experiencia, el proyectista tiene otras referencias para ponderar, como serían los resultados presentados con ayuda de expertos mediante técnicas como la AHP, que se considera adecuada en este tipo de casos, dado que recoge la experiencia de los expertos sobre el problema, y además permite detectar las inconsistencias de los juicios emitidos, y actuar sobre ellos, eliminando dichas inconsistencias.

REFERENCIAS

- Apple, James M. *Plant Layout and Material Handling (third edition)*. John Wiley & Sons, E.E.U.U. (1977)
- Asimow, M. *Introduction to Design*. Prentice-Hall. Englewood Cliffs. 1962.
- Barba-Romero, S., Pomerol, J. C. *Decisiones Multicriterio: Fundamentos Teóricos y Utilización Práctica*. Colección Economía;4. Universidad Alcalá de Henares. 1997
- Francis, R. L., White, J. A. *Facility Layout and Location. An analytical Approach*. Prentice-Hall. New Jersey. 1974
- Francis, R.L., McGinnis, L.F. & White, J.A. *Facility Layout and Location: an Analytical Approach (2nd edition)*. Prentice-Hall International Series in Industrial Systems Engineering. E.E.U. 1992.
- González-Cruz, M. C. *Implantación y aplicación de una estrategia general, basada en la Teoría de las Dimensiones del Proyecto, para la elaboración de una metodología de resolución de Layout. Estructuración de las técnicas necesarias*. Tesis doctoral UPV. 2001
- Gómez-Senent, E.; Gómez-Senent, D.; Aragonés, P.; Sánchez, M. A.; López, D. *Cuadernos de Ingeniería de Proyectos I. Diseño Básico (Anteproyecto) de Plantas Industriales*. Servicio de Publicaciones de la U.P.V. SPUPV-97.440. 1997
- Hubka, V., Eder, E., *Design Science. Introduction to the Needs, Scope and Organization of Engineering Design Knowledge*. 2 Rev. ed. Springer-Verlag. Berlin. 1996
- Moore, J. M. *Plant Layout and Design*. Ed. Mcmillan. Galt. Ontario. 1969
- Muther R. (1981). *Distribución en Planta*. Mc. Graw Hill Company. New York.
- Pahl, G., Beitz, W., *Engineering Design. A Systematic Approach*. Traducción inglesa de Wallace, Blessing y Bauert. 2 Rev. de. Springer-Verlag. Berlin. 1996
- Pugh, S., *Total Design (Integrated methods for successful product engineering)*. Addison-Wesley. Wokingham. 1991
- Saaty, T. L. *The Analytic Hierarchy Process*. Mc. Graw-Hill, New York. 1980
- Saaty, Thomas L. *Toma de Decisiones para Líderes. El proceso analítico jerárquico. La toma de decisiones en un mundo complejo*. RWS Publications. Pittsburg, USA. 1997
- Sule, D.R. *Manufacturing Facilities. Location, Planning and Design*. PWS-Kent Publishing Company. Boston. E.E.U.U. 1994

CORRESPONDENCIA

M^a Carmen González Cruz – mcgonzal@dpi.upv.es - tel: 963877007/Ext.75654
Departamento de Proyectos de Ingeniería – Universidad Politécnica de Valencia
C° de Vera s/n, 46022-Valencia