

“Básico, ca: 1. Que tiene carácter de base o constituye un elemento fundamental de algo.”

— Real Academia Española

11

Ingeniería básica

Contenidos

11.1 Introducción	2
11.1.1 Objetivos	2
11.2 Definición de ingeniería básica	2
11.3 Técnicas de modelización	3
11.3.1 Modelos icónicos	3
11.3.2 Los modelos analógicos	4
11.3.3 Los modelos simbólicos	5
11.3.4 Los modelos digitales	6
11.4 Análisis de los modelos	7
11.5 La ingeniería concurrente	10
11.6 Técnicas de distribución en planta	12
11.6.1 Diagrama de recorrido	13
11.6.2 Método SLP	14
11.6.3 Distribuciones por producto	15
11.6.4 Cálculo de las áreas de planta. Bases de cálculo	16
11.6.5 Mejora en el Diseño de Implantación (lay-outs)	25
11.7 Conclusiones	26
11.7.1 Puntos tratados	26
11.7.2 Preguntas abiertas	27
11.7.3 Lecturas recomendadas	27
Bibliografía	46

11.1 Introducción

11.1.1 Objetivos

Tras esta lección, el alumno conocerá:

- Significado de la ingeniería básica.
- Uso de modelos en ingeniería básica.
- Técnicas de distribución en Planta.
- Técnicas de mejora de implantación.

11.2 Definición de ingeniería básica

A estas alturas del estudio se sabe ya «*qué y cuánto se va a producir*», fruto de los estudios previos y «*cómo se va a producir*» en función del estudio de viabilidad técnica realizado. También se dispone de una buena parte de los datos de partida necesarios para realizar ésta y las etapas posteriores.

A partir de toda esta información hay que elaborar la ingeniería básica que puede definirse como el «*Conjunto de documentos que definen inequívocamente el proyecto y su coste más favorable en un entorno dado*».

Esta ingeniería básica puede ejecutarse directamente por la Propiedad o por un Empresa de Ingeniería independiente. Una característica importante es que, si está bien hecha, puede ser desarrollada perfectamente, en las fases posteriores de Ingeniería de Detalle, Compras, Construcción y Montaje, por otra empresa con un mínimo de problemas.[1]

La primera etapa del proyecto en esta fase de ingeniería básica busca (ver Figura 11.1) la selección de la solución más adecuada teniendo en cuenta las restricciones impuestas por la propiedad desde un punto de vista técnico.

Es necesario comprender que, en el caso de proyecto externo, la primera actividad realizada por la Ingeniería adjudicataria del desarrollo de la ingeniería básica deberá ser la revisión de toda la documentación técnica elaborada durante los estudios previos.

A partir de ahora se deberá reconsiderar la selección de proceso e implantación seleccionada en la etapa de Estudios Previos asegurando un mayor grado de detalle y una concordancia desde el punto de vista técnico.

La comparación de soluciones es, normalmente difícil porque no suele haber grandes diferencias de valor entre unas y otras. En esta etapa, por lo tanto, es necesario recopilar toda la información relacionada con el problema. En la valoración de cada solución intervienen tantos factores que no es fácil encontrar una única expresión a partir de la cual se pueda decidir objetivamente cual es la mejor. En la mayoría de los casos, el proyectista ha de hacer uso de su experiencia para decidir cuáles son los factores más importantes, qué importancia relativa tienen frente a los demás (peso) y cuantificar la respuesta mediante un método de evaluación o de selección adecuado.¹

Una vez determinadas la solución general y las soluciones de los subsistemas que se han valorado como más adecuadas, es preciso desarrollarlas con el fin de comprobar que, ciertamente, la elección ha sido correcta y válida. Una posible forma de actuar sería construir directamente la solución elegida pero esto, excepto en problemas muy simples, podría conducir a situaciones sin salida.[5]

¹Ver lección anterior.

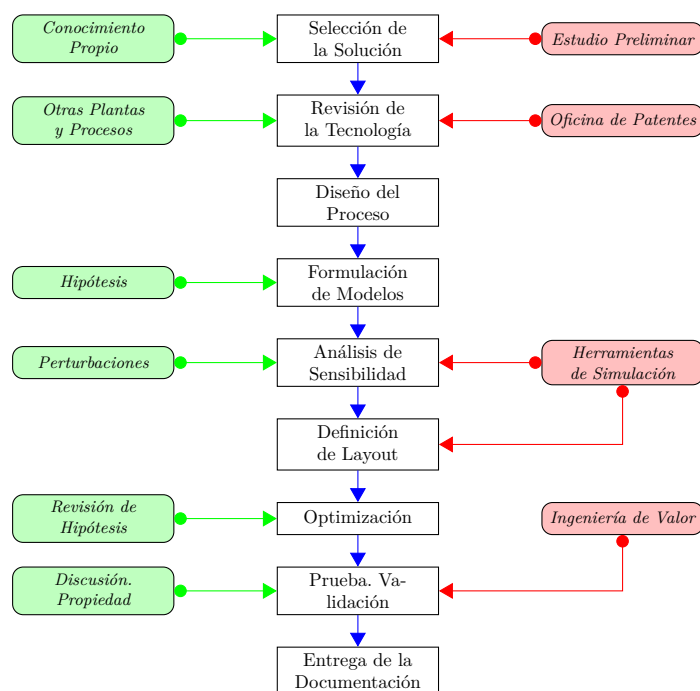


Figura 11.1: Esquema general de etapas en la ingeniería básica.

Efectivamente, en el desarrollo de cada proyecto surgen muchos detalles que pueden crear dificultades tan grandes que lleguen a cambiar la valoración inicialmente positiva de una solución. Así pues, puede decirse que el ingeniero se apoyará en una serie de medios que le permitan conocer las dificultades de un proyecto antes de que se construya.

Uno de estos medios que utiliza el ingeniero son **los modelos**, ya sean para el desarrollo del proceso, que es lo más habitual, o bien para el conjunto del sistema-proyecto.

11.3 Técnicas de modelización

Los modelos son, en efecto, **instrumentos** de simulación del proyecto. Cuando un proyectista dibuja una distribución en planta de una industria o construye el prototipo de una máquina, de alguna manera está intentando ver cómo será el futuro proyecto o cuál es la respuesta a un problema.[5]

Existen cuatro tipos de modelos: **icónicos, analógicos, simbólicos y digitales**.

11.3.1 Modelos icónicos

Los modelos icónicos contribuyen al planteamiento y resolución de problemas mediante la representación visual, permitiendo el establecimiento de relaciones entre elementos y la síntesis de éstos que conduzca a la construcción (icónica) del conjunto.

Dentro de los modelos icónicos que utiliza el ingeniero se encuentran todos los relacionados con el estudio de formas, las proporciones, los problemas geométricos, el lenguaje de los símbolos y las convenciones, las curvas de comportamiento, etc. Los modelos icónicos forman un código técnico de transmisión de información universal que se basa en la ciencia y el arte del dibujo y en las normas de símbolos y líneas.[5]

Los proyectistas emplean modelos icónicos para elaborar[5] :

- **Especificaciones**, bien sea mediante palabras o por coordenadas (descriptivo), o bien mediante el dibujo (más concreto y con menor posibilidad de error).

- **Visualización y síntesis.** El dibujo permite la ampliación o la reducción de un elemento por medio de las *escalas*; utilizando las leyes de proyección y geométricas y conociendo el funcionamiento del órgano de la vista, se puede representar cualquier elemento y establecer sus relaciones: situación, orden, proporción, disposición, sombras, aspectos estéticos, etc. A partir de un grupo de elementos se puede sintetizar un conjunto, o bien, a partir de un conjunto determinar sus componentes.
- **Determinación de dimensiones,** necesaria para la medición, valoración y construcción.
- **Modelos a escala,** que permiten realizar ensayos, comprobar el funcionamiento o estudiar una distribución de componentes.

Los modelos icónicos tienen un nivel de abstracción bajo en comparación con los modelos analógicos (nivel medio de abstracción) y con los modelos simbólicos (nivel alto).

11.3.2 Los modelos analógicos

Los modelos analógicos se utilizan para simular el comportamiento de un conjunto, cuyo estudio directo es difícil, mediante un sistema que pueda **producir** las características y circunstancias del mismo en condiciones más sencillas (ver Figura 11.2).



Figura 11.2: *Ejemplo de modelo analógico.*

Algunos de los ejemplos más conocidos de modelos analógicos son[5] :

- Estudio del comportamiento aerodinámico de un vehículo en el túnel de viento. Dejando fijo el vehículo se *simula* su movimiento haciendo circular aire a la velocidad deseada.
- Resolución de problemas numéricos mediante modelos analógicos de cálculo.
- Resolución de sistemas mecánicos, térmicos, eléctricos, hidráulicos, etc., mediante analogías (problemas térmicos por medio de un sistema analógico eléctrico, por ejemplo).
- Programación de proyectos, representando el proceso de fabricación mediante métodos como PERT, CPM, etc.

En suma, los modelos analógicos permiten[5] :

- **Simular el comportamiento,** operando en el modo deseado y en tiempo real o artificial.
- **Determinar resultados numéricos,** realizando un control cuantitativo de las interacciones entre componentes.

- **Utilizar diversos fenómenos** que sugieran nuevas áreas de investigación.
- **Intercambiar variables y parámetros**, a voluntad.

Los modelos analógicos precisan, para su utilización, de la comprobación de la homogeneidad dimensional y del cumplimiento de reglas de semejanza entre el modelo y el objeto del proyecto.

La simulación con modelos analógicos se lleva a cabo siempre que estén disponibles los equipos específicos necesarios.

11.3.3 Los modelos simbólicos

Los modelos simbólicos son abstracciones abreviadas de las partes relevantes y cuantificables de un problema. Cuando se determina una función objetiva para obtener la solución óptima de un problema, por ejemplo, se está construyendo un modelo simbólico. Los modelos simbólicos son las representaciones matemáticas de los problemas[5] (ver Figura 11.3).



Figura 11.3: *Ejemplo de modelo Simbólico.*

Las características de los modelos simbólicos son las siguientes[5] :

- Se utiliza la máxima generalización para resolver un problema.
- Economía de esfuerzos, al usar símbolos y expresiones muy simplificadas.
- Los modelos simbólicos se apoyan en axiomas y leyes consistentes en sí mismos.
- Se alcanzan resultados numéricos.
- Se deben comprobar los resultados.

Los modelos simbólicos están limitados por la capacidad de resolución de las técnicas matemáticas conocidas y por los propios conocimientos que de dichas técnicas posea el proyectista.

La preparación de un modelo matemático comprende los siguientes pasos[5] :

1. Determinar todas las variables del sistema y asignarle símbolos a cada una de ellas
2. Asumir simplificaciones y eliminar las variables de menor importancia
3. Identificar las variables, los parámetros, las constantes y las condiciones de entorno

4. Agrupar las expresiones y ecuaciones iniciales de estructura, comportamiento y rendimiento. Las ecuaciones representan condiciones de estado, de flujo o de suma de componentes
5. Reducir y simplificar la expresión a una forma en que queden definidos los más importantes aspectos del sistema.

Un modelo simbólico se considera que está bien construido cuando tiene las siguientes cualidades[5] :

- Realismo en la elaboración de predicciones.
- Mínima complejidad para las características del sistema (el menor número de términos y la mayor sencillez matemática).
- Las acciones o fenómenos aislados se reflejan en términos independientes.
- Las expresiones obtenidas serán manejables de forma directa, es decir, susceptible de manipular con operaciones conocidas.
- Facilidad en la sustitución de situaciones de control conocidas.

11.3.4 Los modelos digitales

Los modelos digitales permiten:

- Modelización tridimensional de los subsistemas en forma de realidad virtual.
- Modelización de subsistemas por separado.
- Optimización de parámetros o de procesos enteros.
- Simulación de flujos.

Permite integrar tecnología de inteligencia artificial para optimizar disposiciones, ajustar parámetros, etc. Los costes son al menos de 1 a 1.5 veces inferior al del modelo analógico.

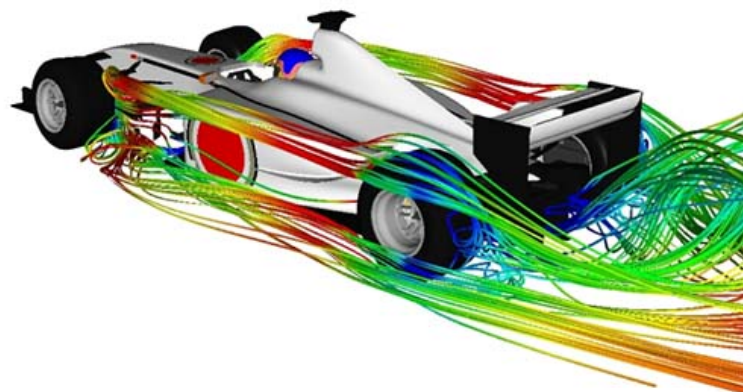


Figura 11.4: *Ejemplo de modelo Digital.*

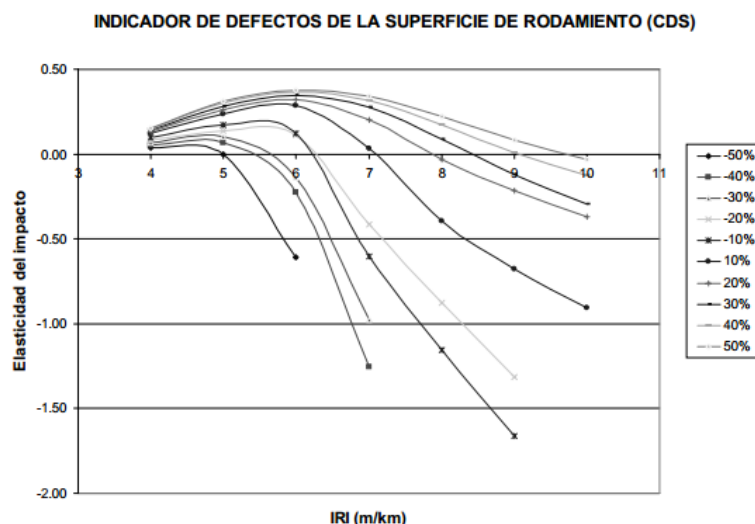


Figura 11.5: Ejemplo de análisis de sensibilidad.

11.4 Análisis de los modelos

Análisis de sensibilidad, de compatibilidad y de estabilidad de variables[5]

Una vez formulados los modelos de los diferentes subsistemas y componentes del proyecto (hasta el nivel de detalle que requiere el anteproyecto) se tiene una primera respuesta que debe analizarse en profundidad.

El primer análisis corresponde al propio modelo formulado. En efecto, el modelo contendrá variables, parámetros y condiciones restrictivas de muy diversa incidencia en la respuesta del problema.

Pequeñas variaciones en algunos factores pueden producir cambios importantes en la respuesta, mientras que otros factores apenas influirán en los resultados aunque sufran modificaciones substanciales.

El **análisis de sensibilidad** de los modelos consiste en determinar los factores que más afectan a la respuesta, y ajustarlos con el mayor cuidado para que el comportamiento final sea el esperado.

En la mayoría de los casos el modelo formulado será del tipo simbólico (matemático) por lo que su descripción se hará en forma de ecuaciones, donde intervendrán las variables de entrada y salida y los parámetros y condiciones del proyecto.

Los parámetros del proyecto representan atributos del sistema, tales como dimensiones críticas, capacidades, pesos y otras propiedades importantes o posibles estados del sistema. Un modelo específico se determina definiendo un conjunto de valores para los parámetros que cumplan las restricciones del sistema.

El análisis de sensibilidad persigue la identificación de los parámetros críticos del proyecto, lo cual se realiza, con la ayuda de la experiencia, dando valores a las variables de entrada y comprobando los que toman las variables de salida, que dependerán de las cantidades asignadas a los parámetros.

El análisis de sensibilidad dará a conocer con más exactitud los mecanismos de funcionamiento del sistema y la conveniencia de modificar (en más o en menos medida) los valores de los parámetros y de las condiciones de contorno.

El **análisis de compatibilidad** se puede entender con facilidad partiendo del concepto del proyecto como sistema, favoreciendo este análisis el estudio por fases del proyecto. Sin embargo, a nivel de componentes (fase de anteproyecto) se pueden detectar los problemas de compatibilidad que, en general, se estudiarán en detalle en la fase de proyecto.

Un ejemplo muy claro de análisis de compatibilidad se produce en el estudio de la distribución en planta por el método *Systematic Layout Planning* (S.L.P.) de Richard Muther [8], cuando se compone la «matriz

de actividades» en que la relación de unas actividades con otras se valora positiva o negativamente según la compatibilidad o incompatibilidad entre ellos.

Otros problemas de compatibilidad que deban investigarse son los siguientes:

- Tolerancia geométrica y física entre componentes.
- Tolerancia química (las características de un depósito para propano no serán las mismas que las de un depósito para almacenar agua, sulfúrico, u otros productos).
- Seguridad (una instalación de pintura de una planta produce una atmósfera explosiva y por tanto la instalación eléctrica y el alumbrado se proyectará con las protecciones necesarias).
- Acoplamiento en serie de componentes.

El **análisis de la estabilidad** es necesario a nivel de anteproyecto y más aún en el proyecto. En el anteproyecto se deben analizar las posibles causas de inestabilidad y los componentes afectados, proponiéndose las soluciones que exijan unas y otras. El análisis de estabilidad consiste en el estudio del comportamiento del sistema y sus componentes ante perturbaciones de las condiciones de funcionamiento previsto.

Optimización[5]

Cada etapa de la fase del estudio previo va produciendo una respuesta más concreta, un conocimiento más profundo de la solución elegida. Este conocimiento sirve para confirmar que la elección de la solución ha sido buena, o bien, puede generar dudas sobre su idoneidad. En este sentido, debe recordarse que el proyectista ha de juzgar la validez de cada una de las etapas y, en caso necesario, realizar los bucles de retroalimentación precisos.

Optimizar es determinar los parámetros del proyecto que, para unas determinadas condiciones de contorno, produzcan al ser aplicadas a las variables de entrada el conjunto de resultados más positivos posibles.

El estudio de la optimización es la base técnica en que se apoya la evaluación y toma de decisiones en el anteproyecto.

Pruebas, comportamiento previsto y simplificaciones[5]

Las **pruebas** pueden permitir observar los defectos de un proyecto antes de pasar definitivamente a la fase de diseño de detalle. Las pruebas únicamente se realizan cuando se constata una cierta inseguridad en los resultados del estudio; es decir, cuando los parámetros o las variables no han podido especificarse con suficiente exactitud.

Las pruebas experimentales se realizan, en general, sobre subsistemas o entre componentes determinados y, muy raramente, sobre todo el sistema.

Algunas de las muchas pruebas que pueden utilizarse durante el desarrollo de la ingeniería básica se señalan a continuación:

- Ensayos a resistencia o a fatiga de un elemento, conjunto de elementos o de un material determinado.
- Ensayo de resistencia a la corrosión de un material frente a determinados agentes externos.
- Pruebas de comportamiento de un circuito frente a variaciones de la tensión u otras causas.
- Comprobación del funcionamiento de un circuito cerrado mediante la construcción de un prototipo en laboratorio
- Comprobación de la resistencia al fuego, aislamiento acústico o térmico de un material o de un conjunto estructural.

- Construcción de maquetas o prototipos para el análisis de la relación entre componentes o estudios ergonómicos y estéticos.
- Filmación a cámara lenta para analizar el movimiento o la vibración de un elemento.

La necesidad de hacer pruebas experimentales a nivel de ingeniería básica viene dada por las propias características del mismo. En los proyectos de productos industriales de uso y en los de industrias de procesos es, casi siempre, obligado realizar algún tipo de prueba, bien sea sobre prototipo, o sobre elementos o piezas.

El estudio del **comportamiento previsto** del proyecto consiste en el análisis del funcionamiento futuro del proyecto. Un proyecto no solamente debe funcionar cumpliendo unas especificaciones previas en el momento de puesta en marcha, sino que ha de hacerlo de igual manera durante una determinada vida de servicio. Además, durante todo ese período de funcionamiento, las condiciones del entorno pueden ir variando y afectar de alguna manera al proyecto; los cambios demográficos, en las leyes, en la política económica nacional y en las relaciones y acuerdos internacionales pueden modificar las consideraciones iniciales de un proyecto; de igual forma influyen en el proyecto los avances tecnológicos en sistemas de fabricación (máquinas-herramientas, robots, etc.), manutención, materiales, microordenadores, automatismos, etc.

El estudio de las **simplificaciones** del proyecto se basa en que durante toda la fase de estudios previos se va acumulando información en forma de soluciones a las distintas partes del proyecto. Al hacer el acoplamiento final entre componentes suelen aparecer complejidades adicionales que es conveniente eliminar. En general, el proceso de simplificación se realiza mediante una realimentación *feed-back* rápida pasando por todas las etapas del anteproyecto, teniendo en cuenta que el proyectista tiene ahora una visión mucho más clara y específica del conjunto de la solución. Es esencial durante el diseño del proceso considerar aspectos de normalización que contemplen los aspectos de seguridad básicos requeridos.

Todo proyecto lleva asociadas grandes dosis de riesgo y de incertidumbre. Una de las funciones principales del proyectista es la de reducir ese riesgo y esa incertidumbre hasta niveles aceptables. Este objetivo dará una medida de la seguridad y de la fiabilidad del sistema proyectado.

El modo de alcanzar esta situación pasa, necesariamente, por el estudio de las condiciones del proyecto que se elaboran por etapas:

1. En el Planteamiento se definen las condiciones del proyecto. Para ello se **fijan las limitaciones de entrada y salida y los criterios y restricciones del proyecto**.
2. En el Análisis se adquiere un **conocimiento de las características de estas condiciones**.
3. En la Síntesis se utilizan las **condiciones para resolver todos y cada uno de los problemas**.
4. La Evaluación permite **comparar las distintas soluciones estudiadas y conocer el coeficiente de seguridad y la fiabilidad de cada respuesta**.
5. La Toma de Decisiones dependerá de todo el proceso anterior.

Un proceso está condicionado fundamentalmente por tres conceptos:

1. Las normas y reglamentos, que **acotan el proyecto desde un punto de vista legal**.
2. El cliente, que **limitará las posibles soluciones fijando condiciones económicas, técnicas, de tamaño, financieras, etc.**
3. El proyectista, que, actuando bajo su libre criterio, se regirá por compromisos óptimos entre coste y seguridad además de otros compromisos que vayan apareciendo.

Es frecuente caer en el error de que el mejor proyectista es el que mejor domina los métodos de cálculo. Sin embargo un buen proyecto **exige un equilibrio en todo su desarrollo**. Así, de un mal diseño conceptual nunca saldrá un buen proyecto por muy bien hechos que estén los cálculos de detalle. Análogamente,

si no se llegan a representar claramente los detalles constructivos del proyecto, el proyectista denota poco criterio sobre el proceso de creación. Las justificaciones y los cálculos reflejan la opinión del proyectista sobre las hipótesis admitidas, pero la mayoría de las consideraciones no quedan reflejadas si no se recurre a los planos. Estos recogen, implícitamente, todos los frutos del proceso proyectual, siendo suficientes a juicio del proyectista, para definir el proyecto y para abordar su realización.

Muchas veces, las hipótesis de cálculo y los modelos matemáticos se apartan de la realidad de forma notable. Los propios cálculos pueden contener errores y omisiones por lo que el proyectista debe utilizar órdenes de magnitud para detectarlos rápidamente.

Es difícil establecer una previsión que se ajuste un 100 % a la realidad porque las situaciones son cambiantes y a menudo existe una gran incertidumbre sobre la realidad tal como es o como será.

El proyectista debe conocer y controlar las fuentes de error y de incertidumbre y acotarlas dentro de unos márgenes mediante coeficientes correctores de los cálculos teóricos. Estos coeficientes pueden extraerse de valores estadísticos que reflejen el comportamiento en situaciones reales a lo largo de un período de tiempo bastante amplio para que las conclusiones sean válidas.

Este criterio es muy utilizado en ingeniería de la construcción donde las acciones externas (viento, nieve, sismo, ...) se desenvuelven dentro de grandes incertidumbres. En este campo el proyectista puede admitir diferencias, entre las magnitudes reales y las proyectadas, del orden del 10 % como una buena aproximación a la futura realidad.

11.5 La ingeniería concurrente

Un enfoque organizativo que se orienta hacia la mejora del proyecto de producción corresponde a la denominada *Ingeniería Concurrente* (I.C.). Ésta tiene como postulado principal que *los actores que intervienen en el proyecto* (diseñadores, clientes, personal de producción, encargados de la gestión de compras, vendedores, etc.) *colaboren y realicen su trabajo simultáneamente con el objetivo de incrementar la competitividad mediante al aumento de la calidad y la reducción de coste y tiempo*. Para ello se busca que exista una integración de las diferentes actividades del proceso creando equipos de trabajo multidisciplinares y coordinándolas con técnicas basadas en computadores.

Para que exista una integración y colaboración de las actividades, se utilizan todas aquellas técnicas informáticas *Computer Integrated Manufacturing* (CIM)[10], que han ido surgiendo y progresando en las últimas décadas, y que junto con las redes informáticas, ayudan en las fases de diseño, producción y gestión de la fabricación y comercialización del producto.

El CIM es un enfoque de la fabricación del producto que emplea la tecnología informática para mejorar el rendimiento del sistema productivo a través del procesado y verificación de la información en todas las fases de la fabricación. Dentro de estas técnicas podemos encontrar:

- CAD (Computer Aided Design), que incluye:
 - *Programas Dibujo Asistido por Ordenador* donde se almacena, modifica y genera la geometría del producto, y que sirve para la generación de planos.
 - *Programas de Diseño Asistido por Ordenador* donde no solo se construye el modelo virtual, sino que además se puede despiezar éste, verificar restricciones y propiedades geométricas (tolerancias, ensamblajes, etc.) o cinemáticas (interferencias, colisiones, etc.), compartir información entre los componentes del equipo de diseño.
- CAE (Computer Aided Engineering), que incluye herramientas como:

- El *método de los elementos finitos* (FEM) que permiten estudiar el comportamiento tensorial, transmisión de calor, propagación de ondas, resistencia del material, etc.
- *Programas de cálculo y simulación de mecanizado* (CNC), donde se permite estudiar la forma de fabricar el producto.
- *Programas que generan listados* (.stl) para máquinas de prototipado rápido, listas de componentes, árboles de ensamblaje, formas de planificación de la producción.
- *Programas de planificación en planta* (lay-outs) con cálculo de tiempos de proceso.
- CAM (Computer Aided Manufacturing), que incluye herramientas para:
 - Prototipado Rápido
 - * *Estereolitografía* (SLA) que usa un monómero fotosensible que polimeriza al recibir radiación luminosa, de forma que el prototipo se genera por capas donde un emisor láser de radiación ultravioleta o visible incide en aquellas zonas de la capa del modelo que se quiere solidificar.
 - * *Solid Ground Curing* (SGC), donde para cada capa del prototipo, se obtiene una máscara generada con una lámina cargada electrostáticamente. Después se aplica a una capa fina de fotopolímero líquido de forma que solo se solidifica la parte de éste en la que incide la luz polarizada que atraviesa la máscara.
 - * *El sinterizado por láser* (SLS), donde el material en forma de polvo se solidifica por el aporte de energía en forma de calor del láser.
 - * *La fabricación mediante balística de partículas* (BPM), donde el material se va pulverizando en capas a través de una atmósfera de vacío o rica en nitrógeno para evitar la oxidación y/o dispersión de las partículas.
 - * *El Multi-Jet Modeling* (MJM), que pulveriza con un cabezal parecido al de las impresoras.
 - * *El Modelo de Deposición Fundida* (Fluid Deposition Modeling (FDM)) donde se inyecta material derretido cerca de su punto de solidificación.
 - * *La Inyección Sólida por Impresión* (Solid Printed Inyection, SPI), donde dos cabezales eyectores recorren cada una de las capas depositando material líquido que se va solidificando al enfriarse. Uno dosifica el material termoplástico y el otro la cera de soporte, de forma que una vez solidificado, por calentamiento se puede eliminar la cera y obtener el prototipo buscado.
 - * *Impresión 3D* (3D Printing, 3DP), donde para cada capa se coloca una capa de polvos cerámicos o metálicos y se comprimen. Después con un líquido aglutinante se fija la imagen de cada capa.
 - * *Solidificación por Inferencia Holográfica* (*Holographic Interference Solid*, HIS), donde se consigue el prototipo proyectando una imagen tridimensional en una cubeta de líquido fotosensible.
 - * *Polimerización Térmica de Líquidos* (*Termal Polymerization*, TP), es análoga a la estereolitografía diferenciándose en el polímero utilizado (térmico en lugar de fotopolímero), es decir, la solidificación se produce por calor en vez de por luz.
 - * *Técnicas Sustractivas*, donde se va cortando láminas muy finas de material plástico, papel o composite con una cuchilla o con láser, y se van uniendo entre sí usando adhesivo o fusionándolas con el propio calor del láser. Otras técnicas usan láminas de plástico semipolimerizado, de forma que las partes que no han sido iluminadas se disuelven mientras que las que si lo han sido se convierten en insolubles (las técnicas son parecidas a los métodos de desarrollo de circuitos impresos).
 - *La Planificación de procesos asistidos por computador* (*Computer Aided Process Planning*, CAPP), donde se diseñan las secuencias de operaciones necesarias para la fabricación del producto, así como la documentación que debe suministrarse a la planta.

- *La planificación de requerimientos de material (Material Requirement Planning, MRP)*, que corresponde a aquellos sistemas que establecen y regulan la cantidad de materia prima y productos que van a ser necesarios para la fabricación.
- *El control de calidad asistido por computador (Computes Aided Quality, CAQ)*, que corresponde a todas aquellas aplicaciones informáticas que gestionan la calidad del producto, sistemas que mejoran los sistemas de producción, sistemas de inspección (visión artificial, máquinas de medición de coordenadas, medida de tolerancias por láser de precisión, etc.).
- *Sistemas de Medición de la Trazabilidad*, donde se vigila y almacena el camino que sigue el producto desde su procedencia y hasta el destino final del mismo.
- *Sistemas de Almacenamiento Flexible*, donde se aplican herramientas informáticas que almacenan y clasifican el producto de una forma óptima y automática.

En la primera etapa de la ingeniería básica, como ya se ha indicado en la lección anterior, *corresponde revisar de forma profunda la información recogida para poder introducir las modificaciones que sean necesarias a fin de actualizar el proyecto con los mejores y más próximos conocimientos sobre el mismo*, incluso con estudios más profundos que permitan asegurar una fiabilidad total del mismo, aunque en relación al proceso, lo habitual es que haya pocas modificaciones.

En los casos de instalaciones de proceso, la Empresa de Ingeniería se encuentra con dos alternativas: *utilizar un proceso de terceros adquiriendo las debidas licencias o utilizar sus medios para realizar la Ingeniería de Proceso necesaria*.

La elección depende de la experiencia y medios del departamento de proceso de la empresa, de su intención de adquirir experiencia en el campo, de la sencillez del proceso a realizar y del coste de la adquisición de la tecnología al propietario de la patente.

Si se compra el proceso a terceros, será necesario formalizar el correspondiente contrato de transferencia de tecnología. Con esto se pretende disponer desde este momento, de toda la información necesaria del proceso para fases posteriores de la ingeniería básica y de desarrollo.

Se ha insistido que esto es lo frecuente en proyectos de instalaciones de proceso, aunque no se debe descartar que en campos determinados sea necesario y aún conveniente realizar dentro de la Empresa de Ingeniería y por medio de su departamento de procesos, el estudio y diseño de un proceso concreto. Esta opción es frecuente en aquellos procedimientos que no son especialmente complejos, cuya tecnología fundamental está disponible en la literatura científica y que no están protegidos por patentes. *En este caso habrá que detallar los datos generales que se usaron en los estudios previos en cuanto a materias primas, productos, rendimientos y consumos*. Este grado de detalle, dentro de la ingeniería del proceso, será suficiente para que se pueda utilizar como parte fundamental de la ingeniería básica.

Como los aspectos de proceso ya han sido estudiados en la lección anterior, en lo sucesivo concentraremos el estudio en los temas de distribución en planta.

11.6 Técnicas de distribución en planta

La distribución de una planta debe integrar numerosas variables interdependientes. Una buena distribución reduce al mínimo posible los costos no productivos entre los que se encuentran el manejo de materiales y el almacenamiento, lo que permite aprovechar al máximo la labor de los trabajadores. El objetivo de cada una de las distribuciones es[7]:

1. **Distribución por proceso.** Reducir al mínimo posible el costo del manejo de materiales, ajustando el tamaño y modificando la localización de los departamentos de acuerdo con el volumen del flujo de los productos.

Diagrama Recorrido	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5
D_1	(D 01)	(20)			(28)
D_2	(20)	(D 02)		(12)	
D_3			(D 03)		
D_4		(12)		(D 04)	
D_5	(28)				(D 05)

Figura 11.6: Ejemplo de Matriz para el Diagrama de Recorrido.

2. **Distribución por producto.** Aprovechar al máximo la labor del trabajador agrupando el trabajo secuencial en módulos de trabajo para aumentar la utilización del equipo y minimizar los tiempos ociosos y los desplazamientos.

Los métodos que se van a exponer y que sirven para realizar la distribución por proceso o funcional son el diagrama de recorrido y el SLP.

11.6.1 Diagrama de recorrido

Es un procedimiento de *prueba-error* que intenta reducir al mínimo los flujos no adyacentes colocando en la posición central los departamentos más activos. Se desarrolla una carta o diagrama de recorrido (*travel chart*) para mostrar el número de movimientos efectuados entre departamentos y así identificar los más activos.

A la solución se llega través de una serie de pruebas. Se usan círculos para denotar los departamentos y líneas de conexión para representar las cargas de transporte en un periodo de tiempo. Se denominan departamentos adyacentes aquellos que en la distribución hayan quedado juntos, arriba, abajo, a los lados o en forma diagonal.

El desarrollo del método se puede dividir en cinco pasos[7]:

1. Se construye una matriz en donde tanto en las filas como en las columnas aparecen todos los departamentos existentes en la empresa.
2. Se determina la frecuencia de transporte de materiales entre todos los departamentos llenando la matriz. Así, según el ejemplo de la figura 11.6, del departamento 1 al 5 hay una frecuencia de 28 movimientos.
3. Se ubica en la posición central de la distribución el o los departamentos más activos. Esto se logra con sólo sumar de la matriz el número total de movimientos en cada departamento tanto de dentro hacia afuera como de afuera hacia adentro.
4. Usando aproximaciones sucesivas, se localizan los demás departamentos, de forma que se reduzcan al mínimo posible los flujos no adyacentes.
5. La solución es óptima si se ha logrado eliminar todos los flujos no adyacentes. Si éstos aún persisten, se intentará reducir al mínimo posible el número de unidades que fluyen a las áreas no adyacentes, ponderando distancias y número de unidades transportadas.

11.6.2 Método SLP

El método SLP (*Systematic Layout Planning*) utiliza una técnica poco cuantitativa al proponer distribuciones con base en la conveniencia de cercanía entre los departamentos. Se emplea una terminología basada en símbolos como se muestra en la Figura 11.7.

Letra	Orden de Proximidad	Valor en Líneas
A	Absolutamente Necesaria	=====
E	Especialmente Importante	=====
I	Importante	=====
O	Ordinaria o Normal	=====
U	Unimportant (sin importancia)	
X	Indeseable	~~~~~
XX	Muy Indeseable	~~~~~

Figura 11.7: Simbología empleada en el SLP.

Se ha subrayado la primera letra del orden de proximidad, para mostrar que la simbología es nemotécnica. El método puede desarrollarse en los siguientes pasos[7]:

1. Se construye una matriz diagonal como la mostrada en la Figura 11.8 y se anotan los datos correspondientes al nombre del departamento y al área que ocupa. La matriz tendrá una forma tal, que permitirá mostrar la relación entre los departamentos.
2. Se completa cada uno de los cuadros de la matriz (diagrama de correlación) con la letra del código de proximidades que se considere más acorde según la necesidad de cercanía entre los departamentos.
3. Se dibuja un diagrama de hilos usando el valor de las líneas del código de proximidad tal y como se muestra en la Figura 11.9.
4. Como el diagrama de hilos debe coincidir con el de correlación en lo que se refiere a proximidad entre los departamentos, y el diagrama de hilos, de hecho, ya es un plano, se le considerará como base para proponer la distribución.
5. La distribución propuesta es óptima cuando las proximidades coinciden en ambos diagramas y en el plano de la planta.

Obsérvese que ambos métodos utilizan el método ensayo-error. No se ha desarrollado ningún método cuantitativo que indique cuando se ha alcanzado la mejor distribución. Aquí interviene en gran medida el ingenio del investigador, pues no es forzoso que todos los departamentos tengan ni lados iguales ni una superficie regular, pero el diseñador les va dando forma según su criterio y según los principios y objetivos

Departamento		Área m^2							
Recepción de Materiales	1	20	A						
Almacén de M.P.	2	50	A	E					
Armado	3	85	A	I	A				
Fabricación	4	100	A	U	U	I			
Almacén de P.T.	5	60	E	I	X	U	U		
Oficinas	6	40	U	E	X				
Sanitarios	7	15	U	X					
			O	U					

Figura 11.8: Relación entre Departamentos en SLP.

de la distribución de la planta.

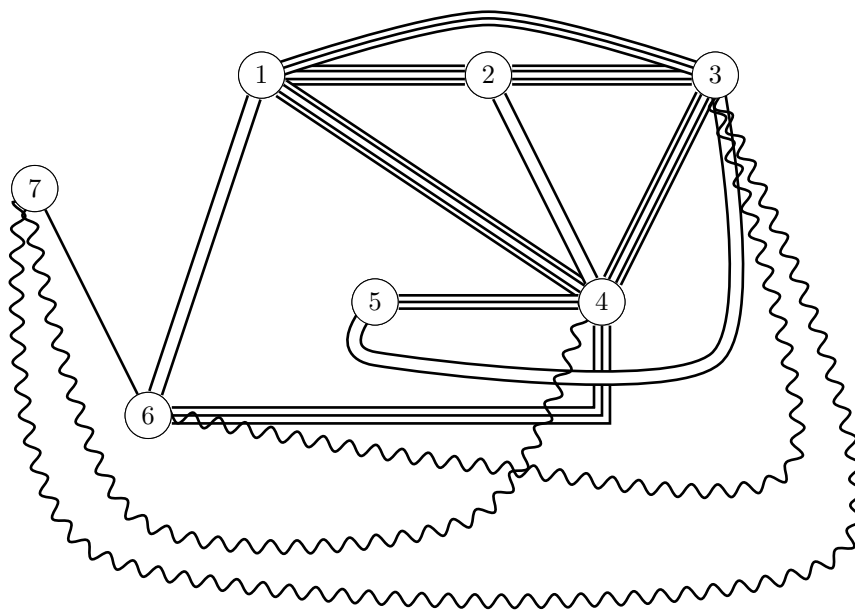


Figura 11.9: Grafo para la relación entre Departamentos en SLP.

11.6.3 Distribuciones por producto

El método empleado para proponer distribuciones por producto es el balanceo de líneas. Se basa en alinear las actividades de trabajo secuencial en módulos de servicio para obtener la máxima utilización de mano de obra y equipo. Las actividades de trabajo compatibles entre sí se combinan en grupos que consuman aproximadamente el mismo tiempo, sin violar las relaciones de procedencia.

El tiempo de trabajo (o de operación) que tiene disponible cada componente en un módulo o estación de trabajo, es el tiempo de ciclo, entendido como el lapso que tarda un producto en abandonar una línea de producción. Si el tiempo requerido en algún módulo excede al que tiene disponible un trabajador (o

trabajadores de ese módulo) entonces habrá que agregar más trabajadores a ese módulo.

Este método tiene el inconveniente de no incorporar a los cálculos las contingencias que surgen en un proceso de producción continuo.

11.6.4 Cálculo de las áreas de planta. Bases de cálculo

Tras llegar a una propuesta de distribución ideal para la planta, la tarea siguiente es calcular las áreas correspondientes a cada departamento.

A continuación se indican los principales departamentos que se encuentran habitualmente en una planta industrial y cuál sería la base de cálculo del área que ocupan.

Recepción de Materiales

El área de Recepción de materiales y embarque de producto terminado, depende de los siguientes factores:

1. Volumen de maniobra y frecuencia de recepción (o embarque).
2. Tipo de material (varían mucho entre sí las necesidades para líquidos, granos, metales, material voluminoso, como algodón, u otros).
3. Forma de recepción o embarque. Debe precisarse si se va a recibir (o embarcar) haciendo un pesaje en la empresa, si el pesaje es externo, si se van a contar las unidades transportadas, a medir sus volúmenes, etc.

Almacenes

Dentro de la empresa puede haber tres tipos de materiales: materia prima, producto en proceso y producto terminado. Para calcular el área de almacén de materia prima se recomienda usar el concepto de lote económico de la teoría de inventarios (stocks). **El lote económico es la cantidad que debe adquirirse cada vez que se surten los inventarios para manejarlos en forma económicamente óptima.** Es un modelo determinístico para el manejo de los almacenamientos que supone la reposición instantánea, el consumo de materia prima a una tasa constante y el mantenimiento de una reserva de seguridad previamente establecida. El resultado del cálculo del lote económico es una cantidad dada en unidades, toneladas, litros, o cualquier otra unidad de medida, lo cual permite calcular el área necesaria para almacenar esa cantidad comprada mediante la simple multiplicación de la cantidad adquirida por el área ocupada por cada unidad. El lote económico también permite calcular la frecuencia de compra (se deberá hacer el cálculo del mismo por cada materia prima utilizada) para así poder determinar el área total ocupada por la materia prima (evidentemente influida por la capacidad del medio de transporte), de la degradabilidad de la materia prima y de las características del mercado (estacionalidad, etc.).

Para el cálculo del área ocupada por el producto en proceso, se puede decir que cada proceso que debe tener productos semielaborados es totalmente distinto (por ejemplo, el armado de automóviles, el de aparatos eléctricos, el madurado de queso, el curado de un tabaco, etc). Por esta razón, en el caso de que en la evaluación de un proyecto ocurriera esta situación, debe estudiarse en forma especial el cálculo del área destinada para el producto en proceso.

Cuando se calculan **almacenes de producto terminado**, el tiempo que éste permanezca en el depósito dependerá de la coordinación entre los departamentos de producción y ventas, aunque también de los turnos trabajados por día, la hora y la frecuencia con la que el departamento de ventas recoge el producto terminado; es decir, si el departamento de ventas sólo recoge en la mañana el producto y se trabajan tres turnos por día, los almacenes deberán tener capacidad para guardar todo el producto desarrollado en tres turnos de trabajo.

Se debe evaluar el riesgo del almacenamiento de cada producto dependiendo de las diversas propiedades fisicoquímicas que puedan incidir en la seguridad de la propia fábrica o en la de sus proximidades, por ejemplo: Inflamabilidad, Toxicidad y Reactividad.

1. **Inflamabilidad:** El reglamento de almacenamiento de productos químicos (RAPQ) establece la siguiente clasificación de los mismos en función del riesgo potencial en cada producto:
 2. Clase A: Productos licuados con presión de vapor a 35°C mayor de 1 bar.
 - (a) Clase A licuados a 0°C;
 - i. Clase A en otras condiciones.
 - (b) Clase B: Productos cuyo punto de inflamación es inferior a 55°C y no son de clase A.
 - (c) Clase C: Productos cuyo punto de inflamación está entre 55°C y 120°C.
 - (d) Clase D: Productos cuyo punto de inflamación mayor de 120°C
3. **Toxicidad:** La clasificación a este respecto no resulta universal, como en el caso anterior, aunque podemos considerar:
 - (a) Clase E: Con exposición breve producen la muerte o serios daños temporales a pesar del rápido y adecuado tratamiento médico.
 - (b) Clase F: Con exposición intensa y prolongada producen importantes daños residuales si no se lleva a cabo un rápido y adecuado tratamiento médico.
4. **Reactividad:** Susceptibilidad de los productos para liberar energía, reaccionando dentro de su entorno. Se pueden clasificar como:
 - (a) Clase G: Productos que en condiciones normales de presión y temperatura detonan, se descomponen o reaccionan explosivamente con o sin fuente de iniciación, calentamiento o reacción con agua.
 - (b) Clase H: Productos inestables en determinadas condiciones de presión y T^a o que reaccionan con el agua o el aire sin violencia.

Se deben prever medidas destinadas a evitar la causa, a evitar la propagación o a combatir el fuego. Dentro de los primeros se plantea la eliminación de la atmósfera inflamable, evitar las fuentes de ignición, etc.; dentro de los segundos se definen distancias mínimas, cubetas de contención y canalización de descargas [4, 3].

Departamento de Producción

El área que ocupe este departamento dependerá del número y las dimensiones de las máquinas que se empleen; del número de trabajadores; de la intensidad del tráfico en el manejo de materiales y de las normas de seguridad e higiene en lo referente a los espacios libres para maniobra y paso de los trabajadores.

Control de Calidad

El área destinada a este departamento dependerá del tipo de control que se ejerza y de la cantidad de pruebas que se realice.

Servicios Auxiliares

Equipos que producen ciertos servicios, como agua caliente (calderas), aire a presión (compresores de aire), agua fría (compresores de amoníaco o freón y bancos de hielo) no se suelen situar dentro del área productiva, sino que se les asigna una localización especial, totalmente separada. La magnitud del área asignada dependerá del número y el tipo de maquinaria y de los espacios necesarios para realizar el mantenimiento.

Sanitarios

La magnitud de este área dependerá del número de trabajo y de las condiciones de trabajo que puede exigir cambios de indumentaria y utilización de protecciones, lo que exigirá proporcionar vestuarios.

Oficinas

El área destinada a oficina dependerá de la magnitud de la mano de obra indirecta y de los cuadros directivos y de control de la empresa. Se pueden asignar oficinas privadas para el gerente, jefe de turno, supervisor, directores (de producción, administración, ventas, planeación, relaciones humanas, etc.), y personal administrativo y contable. Todo ello dependerá de la magnitud de la estructura administrativa y, por supuesto, de los recursos con que cuente la empresa, pues muchas funciones, tales como la contabilidad, la selección de personal, la planeación, y otras, pueden asignarse a personas o entidades ajenas a la empresa.

También hay que tener en cuenta el área de oficinas de atención al público, no sólo de ventas, sino también para atención de proveedores y acreedores.

Mantenimiento

En todas las empresas se da mantenimiento de algún tipo. Según éste y los recursos que hagan falta se asignará el área. Esta cuestión la decidirán los promotores del proyecto.

Se considera que éstas son las áreas mínimas con que debe contar una empresa. Pueden existir muchas otras como por ejemplo áreas de recreación, cocina, comedor, auditorio o vigilancia, etc.; pero sólo se deberá considerar este tipo de áreas en un proyecto con la aprobación previa de los promotores, ya que no son estrictamente necesarias y considerarlas implica un coste adicional aparentemente no productivo.

Servicios Generales de Fabricación (Off-Sites)

Son todos aquellos que quedan fuera de la línea o proceso principal de fabricación pero que son esenciales para que esta se realice (ver Figura 11.10):

1. Las unidades de producción o transformación.
2. Las oficinas.
3. Los laboratorios.
4. Los almacenes.
5. Los talleres auxiliares de mantenimiento.

Unidades de Producción y Transformación

Realmente, cada una constituye una planta que se puede considerar, con respecto a su implantación, independiente, aunque deberá tenerse en cuenta que en el layout del conjunto deberá situarse de acuerdo con las necesidades que impone el proceso de la planta industrial que se proyecta.

Las instalaciones más importantes dentro de este grupo son:

1. Estaciones transformadoras de energía eléctrica.
2. Centrales generadoras de energía eléctrica.
3. Unidades de tratamiento de agua para proceso.
4. Instalaciones de depuración de efluentes.



Figura 11.10: Ejemplos de servicios generales de fabricación. Fuente: [7]

5. Instalaciones de producción de vapor, aire comprimido, etc.

6. Centralizaciones de oxígeno, acetileno y gases en general.

En función de las necesidades y tamaño se requerirá de edificios independientes y de un estudio particular para cada uno de ellos.

En general todas estas instalaciones deben situarse lo más próximas posible al centro de gravedad de su consumo, ya que así se reducen las longitudes de sus conducciones. Otras veces es imprescindible implantarlas al pie del lugar donde se produce su necesidad (ver Figura 11.11).

Oficinas

Desde las oficinas se dirige y planifica el proceso de producción y la organización de los recursos y medios para obtener la misma. La estructura de organización, que se refleja en el organigrama de la empresa, define el sistema necesario para el logro de los objetivos. El organigrama es de gran importancia en el diseño de una implantación de oficinas ya que funciona como una línea de producción del proceso de dirección. En este caso, se considera como materia prima la información, y se define todo el conjunto como el sistema de información para la dirección (MIS), Management Information System.

En cuanto a la información es necesario considerar:

- Su generación y tratamiento.
- Su circulación.
- Su custodia.

En el proceso de información y decisión intervienen:

1. **Personas:** deben de considerarse los lugares de trabajo y de reunión precisos para la generación, tratamiento de datos y su registro, así como la circulación de personal y la de los registros de la información que generan.
2. **Papeles:** deben distinguirse los impresos permanentes, los impresos periódicos, los impresos aperiódicos, los impresos aleatorios, etc.
3. **Otros soportes,** tales como las cintas magnéticas, discos de ordenador, etc.



Figura 11.11: Ejemplos de unidades de producción. Fuente: [7]

4. **Lugares de registro de la información**, ya sean, bien sobre papel, sobre cintas magnéticas o sobre cualquier otro medio.
5. **Las transferencias de información sin registro**: como por ejemplo, las recibidas o transmitidas telefónicamente.
6. **Otros medios de transporte de la información.**
7. **Lugares para el archivo de todos los registros del proceso de información y decisión.**

Hay que tener en cuenta en el proceso de diseño de la implantación que la oficina debe:

1. Agrupar todos los servicios directamente relacionados con la planta industrial y su proceso de información.
2. Facilitar las tareas de todos los escalones de dirección de la Planta Industrial, agilizando el proceso de toma de decisiones.

En cuanto a su ubicación, las oficinas de la Planta Industrial pueden disponerse en un edificio externo a las zonas de fabricación o por el contrario, integradas en los edificios o zonas de producción. La decisión deberá tomarse en función de la eficacia relacionada con la velocidad precisa en la transmisión de la información. A este respecto debe considerarse que la dimensión tiempo es esencial en el proceso de tratamiento y manejo de la información. Para conseguir mayor eficacia, a veces es necesario disponer oficinas dentro de las zonas del proceso de producción como "lugares o puntos de contacto".

También, y en general para las oficinas que nos interesan, (excepto las que son solo de acceso a una actividad específica de la producción) debe considerarse que interesa localizarlas cerca del acceso y zona de aparcamiento y que esto debe conjugarse con el criterio expuesto en líneas anteriores.

Al proyectar la implantación y construcción de una oficina debe considerarse que un edificio o zona de oficinas ha de ser versátil para su utilización y para conseguirlo:

- Las divisiones o tabiques deben ser móviles y/o desmontables.
- El numero de divisiones ha de ser mínimo.
- La estructura de la edificación debe estar calculada para la sobrecarga mecánica permisible.
- Las instalaciones deben proyectarse para su utilización bajo múltiples condiciones.
- Deben preverse futuras ampliaciones.
- Para determinadas actividades pueden utilizarse oficinas abiertas, con lo que se mejora la eficacia.

Por supuesto, no hay que dejar de lado el aspecto de la iluminación en cada una de las áreas de trabajo. Efectivamente, este aspecto es muy importante y debe realizarse un estudio serio de la iluminación necesaria en cada una de las zonas del edificio según las tareas que se van a realizar.

Considerando que la presencia del hombre es constante en todas las actividades a efectuar en el proceso de trabajo de las oficinas, es fundamental tener presente en su diseño consideraciones socio-psicologicas, de confort (ergonomía) y de habitabilidad.

En las Figuras 11.12, 11.13, 11.14, 11.15 ,11.16, 11.17, 11.18, 11.19, 11.20) se muestran algunos ejemplos y dimensiones de oficinas.



Figura 11.12: Ejemplos de decoración de oficinas. Fuente: [7]

OFICINAS.— Anchuras de pasillos y corredores.

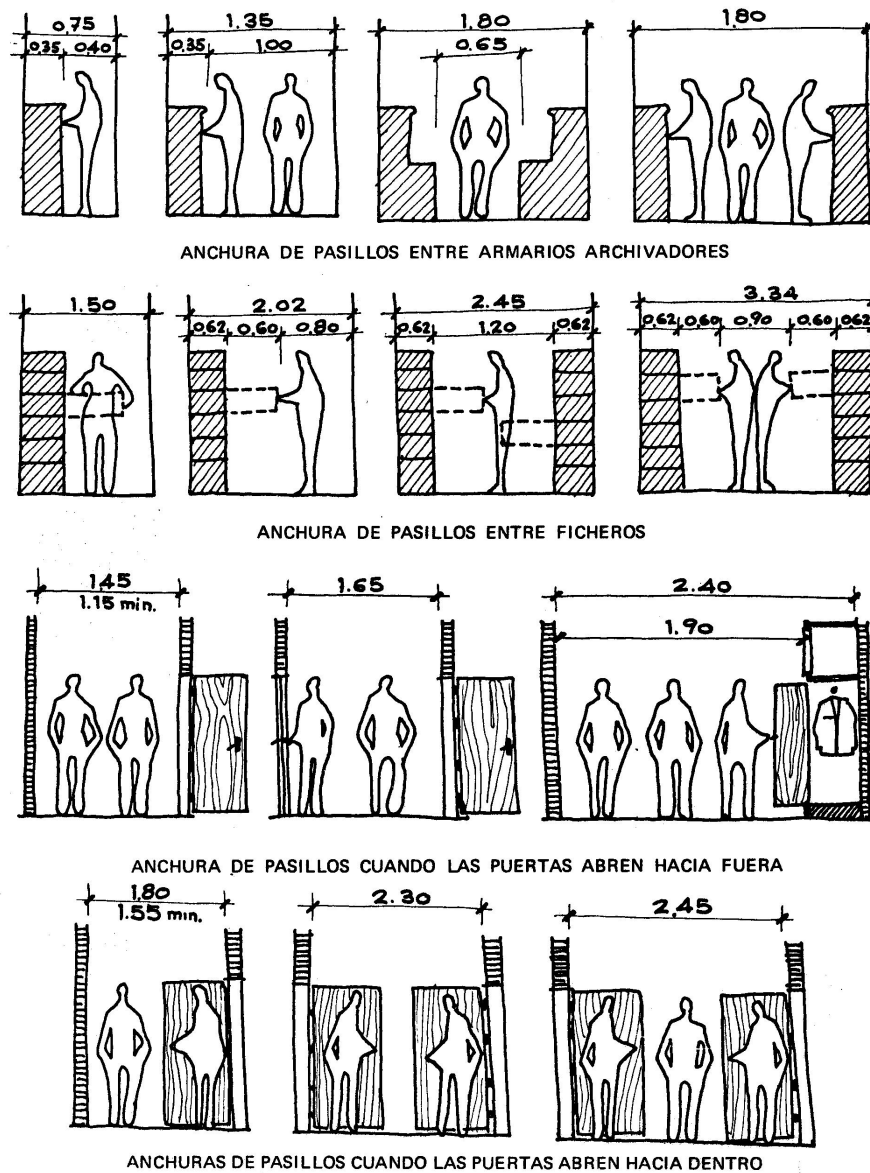


Figura 11.13: Anchura de pasillos cuando las puertas abren hacia dentro. Fuente: [2].

Laboratorios

Es prácticamente imposible determinar de una manera general el tamaño de un laboratorio ya que existen de muchos tipos y varían considerablemente según el tipo de industria a la que pertenecen.

En general pueden dividirse en dos grupos:

1. Laboratorios de ensayo de materiales o control.
2. Laboratorios de investigación.

En cuanto a su ubicación, el laboratorio debe tener generalmente proximidad al edificio central de oficinas porque su actividad estará muy relacionada con la dirección general de la empresa y con sus servicios técnicos, pero a la vez ha de tener una relación fácil con los locales de producción.

Hay que buscar una situación que, a ser posible, reúna todas estas condiciones:

- Próxima a la oficina.
- Próxima a los talleres.
- Que sea una zona tranquila.

En cuanto al planteamiento de su construcción, puede optarse por dos soluciones: laboratorio aislado, o dentro de la zona de producción. Cuando de lo que se trata es de realizar ensayos o control, lo normal es disponerlos bajo el nombre de “secciones de control” en las propias zonas de fabricación.

Cuando se decide por un laboratorio aislado, todas sus instalaciones y dependencias se agrupan en un solo edificio. Esto es una buena estrategia ya que se reúne toda esa actividad común en una sola situación e incluso dentro de una implantación industrial, si es grande o importante, se puede tener un edificio preparado especialmente para que contenga todos los servicios técnicos y los laboratorios. (Figura 11.21).

Almacenes

Tienen una función prioritaria en el proceso de producción. Al igual que en las anteriores instalaciones auxiliares (off-sites) es difícil establecer normas y clasificaciones generales, pues dependerán en gran medida del proceso productivo.

En principio pueden establecerse cuatro clases de almacenes:

1. Los de materias primas.
2. Los de productos semiterminados.
3. Los de productos terminados.
4. Los de herramientas, útiles, piezas de recambio y repuestos.

En las tres primeras clases y según la clase de producto a almacenar, pueden proyectarse soluciones al aire libre o, por el contrario, que necesiten una protección contra todos los agentes atmosféricos.

Los del cuarto tipo, o sea, los de herramientas y útiles se instalan siempre dentro de los locales destinados a la fabricación.

Tanto en los almacenes a la intemperie como en los interiores, deben estudiarse sus dimensiones en función de la producción de la fábrica, así como establecer el tipo de trabajo que se realizará y determinar las líneas de tráfico más apropiadas. (Figuras 11.22 y 11.23).

Talleres y Servicios Auxiliares

Su función es la de suministro, mantenimiento y reparación de los equipos de producción.

Normalmente se dividen en:

1. Taller de reparación de herramientas y útiles de trabajo.
2. Taller de reparación de los medios de manutención.

Su situación en el terreno dependerá de la importancia que tengan todos los servicios. Cuando se trate de servicios centrales, generalmente, interesará disponerlos en el centro de gravedad de la planta porque de esta forma se reducirán los recorridos en el tráfico de personas y útiles. (Figura 11.24).

Servicios para el Personal

No intervienen en el proceso de producción pero son necesarios por cuestiones sociales o prácticas, incluyen:

1. Comedores.
2. Servicios de higiene.
3. Servicios médicos
4. Servicios culturales.
5. Aparcamientos.

Comedores. Los comedores constituyen un servicio indispensable en fabricas donde normalmente se trabaja en turnos de jornadas casi continuas y en las cuales, en general, el personal no puede desplazarse a sus casas para ir a comer. Son instalaciones que no solo atienden las necesidades humanas y sociales del personal de una fabrica, sino que incluso son totalmente precisos desde el punto de vista de la eficacia de la fabricación (ver Figuras 11.25 y 11.26).

Dentro de los tipos de comedores hay dos fundamentales:

1. **COCINA COMPLETA:** Se preparan las comidas en su totalidad, se debe por tanto disponer una cocina capaz de servir una gran cantidad de raciones al ser propios de grandes empresas, por lo que se requieren un gran número de elementos, un almacén frigorífico, instalaciones de cocina, lavaplatos, etc., por lo tanto, requieren un estudio de implantación cuidadoso.
2. **CALIENTA PLATOS:** Únicamente se calientan las comidas que lleva el personal que trabaja en la planta, por lo que la implantación es mas sencilla.

En cuanto a su ubicación suele tratarse de edificios diferenciados del de producción pero próximos a él.

Servicios de Higiene. Los servicios de higiene incluyen:

1. Los vestuarios.
2. Los aseos.

Para su organización y distribución se deben tener en cuenta los siguientes criterios:

- a) Separación de los destinados a hombres y mujeres.
- b) Una primera zona donde estarán los vestuarios con las correspondientes taquillas individuales y bancos
- c) Unida a la zona de vestuarios, se instalará la zona de aseos con lavabos, duchas, retretes, etc.

En cuanto a su ubicación se debe tener en cuenta que :

1. Los servicios generales de vestuarios y aseos deben estar cerca de la planta de producción.
2. Cuando la industria esta implantada en un edificio único, el vestuario debe estar situado cerca de la entrada y con un acceso fácil a la zona de trabajo.
3. Cuando la implantación se dispone en varios edificios, o en uno de grandes dimensiones, los vestuarios deben de distribuirse de forma que se eliminen los tiempos muertos.
4. En las grandes implantaciones, además de los aseos principales que se colocan al lado de los vestuarios, se sitúan otros, más simples, próximos a las zonas de fabricación, para que los recorridos sean lo menores posibles.

Como se observa, es importante estudiar en profundidad las circulaciones de personal para que no se produzcan problemas de tráfico. También es necesario considerar en el estudio que todos estos servicios dispongan de un sistema de ventilación adecuado. (Figura 11.29, Figura 11.27 y Figura 11.29).

Servicios Médicos. Los servicios médicos tienen dos finalidades: la atención al personal cuando se produzcan accidentes de trabajo y la de efectuar medicina preventiva.

En cuanto a su distribución, ésta dependerá si se trata de servicios médicos generales (Grandes Empresas) o de servicios de primeros auxilios.

1. En el caso de servicios médicos generales, la distribución constará básicamente de una sala de espera, en comunicación con la consulta del medico, y ésta a su vez comunicada con los aparatos de medicina general.
2. En el caso de primeros auxilios y curas de urgencia, constaran básicamente de una sala de curas y en la industria pesada además, de un quirófano.

En lo referente a la ubicación y en cualquiera de los casos deberán contar con un fácil acceso desde la planta y hacia el exterior. (Figura 11.30).

Servicios Culturales. Otros servicios, estos sí de índole solamente social, son los servicios culturales. Dentro de estos podemos enumerar:

1. Centros de formación del personal.
2. Bibliotecas.
3. Salas de reuniones.
4. Servicios deportivos.
5. Guarderías infantiles.
6. Otros locales sociales y sindicales.

11.6.5 Mejora en el Diseño de Implantación (lay-outs)

La obtención de soluciones óptimas para solucionar el problema de la implantación, no es nada sencillo por dos razones fundamentales:

1. No hay unas funciones objetivas generales aceptadas que capturen todos los aspectos relevantes del problema.
2. Encontrar una solución óptima es casi imposible, pues conlleva o bien a un problema de asignación cuadrática a gran escala (QAP)[9] o a un problema de programación entera mixto de gran escala[6].

Por estas causas, la mayor parte de las investigaciones que se han realizado para diseñar métodos de implantación han tenido como propósito el desarrollo de procedimientos heurísticos.

En referencia al denominado **lay-out BASE**, o de la propia planta en cuanto a aspectos de proceso, podríamos concebir el método como el descrito en la Figura 11.31, que puede incluso ser utilizado para la justificación de la solución adoptada:

El diseño del producto y las especificaciones de fabricación determinan en gran manera el tipo de proceso a emplear. Hemos de determinar las cantidades o ritmo de producción, de los diversos productos o piezas antes de que podamos calcular qué procesos necesitamos. Solamente así se conocerá la maquinaria a utilizar.

Antes de comenzar la distribución es preciso que hayamos seleccionado previamente los procesos de producción idóneos para el caso. Debemos considerar los requisitos del equipo en sí mismo (maquinaria pesada en la planta baja y adecuada superficie de suelo para el equipo voluminoso). El movimiento planeado de material entre los diversos procesos y de una a otra operación nos da el flujo o circulación. A su vez, estudiaremos todas las otras consideraciones discutidas en los ocho factores que afectan a una distribución.

Pero siempre debemos recordar que el espacio y la situación de los procesos de producción y maquinaria (incluyendo utillaje y equipo) constituyen el núcleo del plan de distribución.

Al planear la distribución se ha de tener en cuenta el factor edificio. Cuando la factoría ya está construida es, frecuentemente, el factor que más limita la distribución existente. No obstante, cuando se construye un edificio nuevo se proyectará basándose en la distribución prevista.

Cuando la maquinaria, equipo de servicio y distribución son más permanentes que el edificio éste deberá construirse a partir de la distribución más eficiente. No se harán más concesiones al factor edificio que las estrictamente necesarias; planeándose un edificio sobre una distribución tan ideal como se pueda diseñar.

Cuando la distribución es menos permanente que el edificio se construirá una planta de utilización general pensando en las distribuciones posibles, no únicamente en la actual. Aún, si no es posible predecir los cambios, se debe planear el edificio pensando en diversas distribuciones supuestas que puedan ocuparlo sucesivamente.

Cuando se haya completado el diseño de la distribución general de conjunto, se someterá ésta a una evaluación antes de iniciar el planeamiento de los detalles. Al mismo tiempo que se somete la solución a la aprobación de todos los involucrados resulta conveniente un replanteamiento de los objetivos que han guiado nuestro diseño.

Si repartimos unos informes solicitando la opinión sobre el diseño y preguntando sobre los factores que se consideran más importantes, podremos cotejarlos con los que hemos utilizado en el diseño y efectuar los cambios oportunos.

Con esta comprobación se asegura que la distribución está bien planeada además de que nos puede revelar futuras mejoras a realizar.

El concepto inicial de la distribución deberá representar un plan teórico ideal, sin tener en cuenta las condiciones existentes ni el coste. Más tarde se irán realizando ajustes de adaptación a las limitaciones representadas por los edificios y otros factores. De esta manera, se evita que los falsos prejuicios acerca de la necesidad imperiosa de ciertas características, malogren la posibilidad de una buena distribución.

Los objetivos básicos determinarán esta distribución teóricamente ideal (deberá ser planeada como si no existiese nada en la planta). Después, y sólo después, deberán hacerse intervenir los factores que limitan la distribución con arreglo a lo práctico y se combinarán de modo que proporcionen los mayores beneficios globales.

De la misma forma que la mayor parte de conclusiones o decisiones, la distribución será un compromiso entre los objetivos básicos -el ideal y el práctico-. y los diversos factores que afecten a la misma. El punto de vista e interpretación de los hechos es sumamente importante.

Antes de establecer los procesos necesarios, deberemos asegurarnos de que el producto, tal como está diseñado, nos permita el empleo de procesos y métodos económicos. Un producto que funcione satisfactoriamente, en un laboratorio experimental, puede estar proyectado de tal modo que su fabricación sea muy compleja. Si en el diseño del producto se ha pensado en el procedimiento de fabricación, la eficacia del proceso productivo será mayor y disminuirá la inversión necesaria en maquinaria.

11.7 Conclusiones

11.7.1 Puntos tratados

En esta lección se ha aprendido a valorar los aspectos implicados en la ingeniería básica de un proyecto de ingeniería. Se ha prestado especial atención a la metodología basada en modelos, valorando las diferentes posibilidades existentes para reflexionar sobre las posibilidades que la ingeniería concurrente puede aportar.

Finalmente se dedica bastante esfuerzo a detallar tanto metodología de trabajo como requisitos a considerar en el trabajo de definición de la distribución en planta del proyecto, pues se trata sin duda de un aspecto clave para el futuro del proyecto y que se define de modo unívoco en esta etapa de ingeniería básica.

11.7.2 Preguntas abiertas

Ejercicio 1: Proponga una distribución en planta para un proyecto con los siguientes departamentos, superficies y frecuencias de movimientos:

	Superficie (m ²)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
D1.-Producción	480	-	4	3	4	3	4	3	3
D2.-Almacén	305		-	1	1	0	1	0	4
D3.-Oficina	240			-	0	1	1	0	1
D4.-Laboratorio de Herramientas	115				-	1	4	0	0
D5.-Comedor	75					-	0	0	0
D6.-Mantenimiento	100						-	0	1
D7.-Vestuarios	60							-	0
D8.-Embarque y recepción	190								-

11.7.3 Lecturas recomendadas

La primera parte de la presente lección sigue principalmente la línea marcada por las referencias [1] y [5], mientras que la parte final de la misma sigue la línea marcada por la referencia [7].

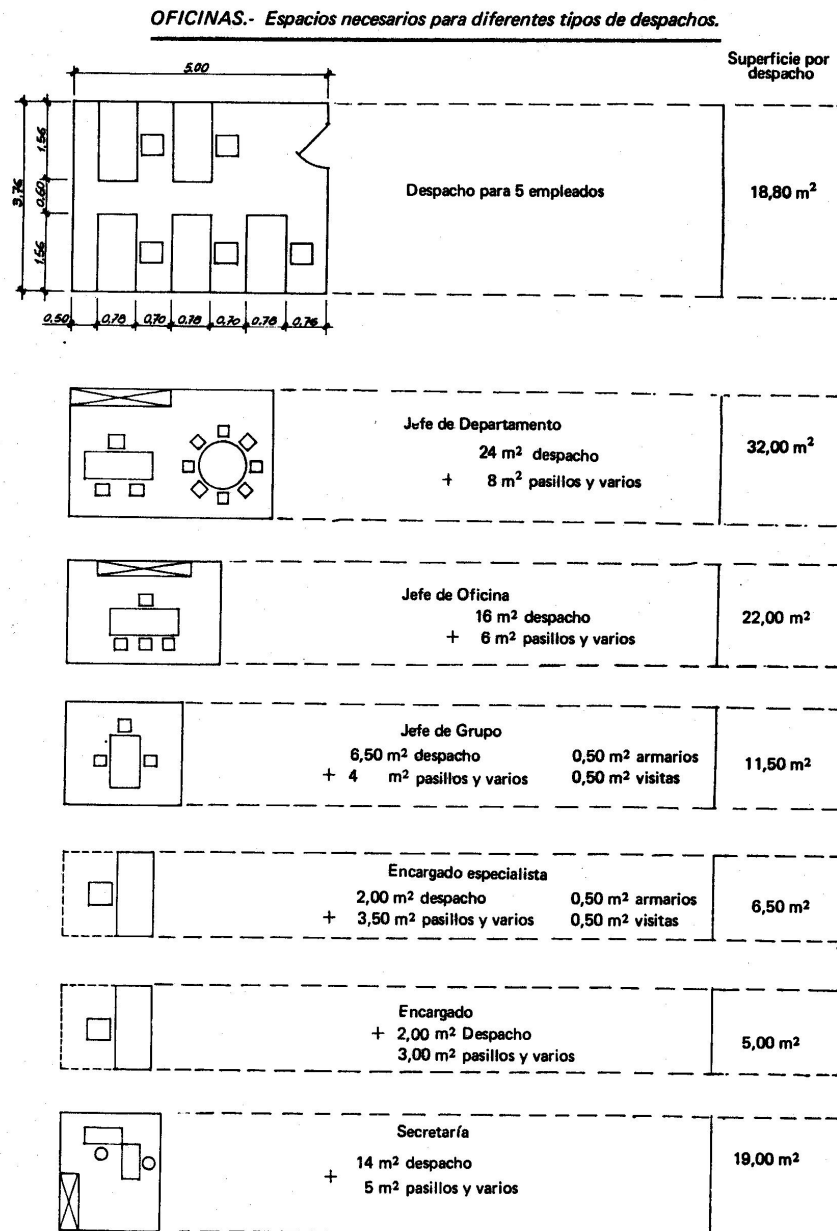
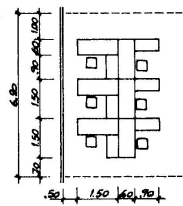
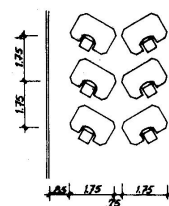


Figura 11.14: Diferentes organizaciones y tamaños de oficinas según su función. Fuente: [2].

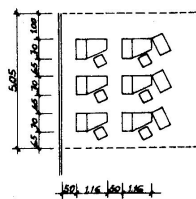
OFICINAS.— Posibilidades de amueblamiento y espacios mínimos necesarios



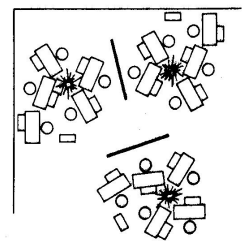
Las mesas con suplemento en L son ventajosas por el aumento de la superficie de trabajo, lo que permite la adaptación de máquinas de escribir o calcular.



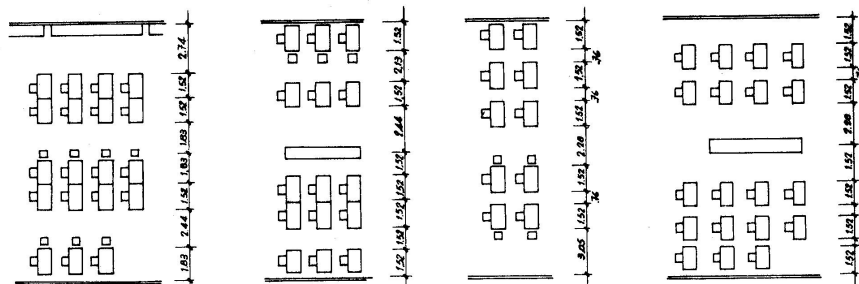
La disposición de muebles en semicírculo favorece más el alcance de las manos.



Pueden combinarse muebles de sistemas y de formas diversas, disponiéndolos aislados o formando agrupaciones adecuadas.



Libre formación de grupos de muebles, agrupándolos alrededor de macetas con plantas y se separarán con biombo.



Cuatro posibilidades de distribución de una oficina. El tamaño de las mesas de escritorio es 86 x 152 cm. Superficie de trabajo por empleado: 6,04 m² en los dos primeros ejemplos y 7,33 m² en los dos restantes.

Figura 11.15: *Diferentes posibilidades de amueblamiento de oficinas. Fuente: [2].*

OFICINAS.— Posibilidades de amueblamiento y espacios mínimos necesarios

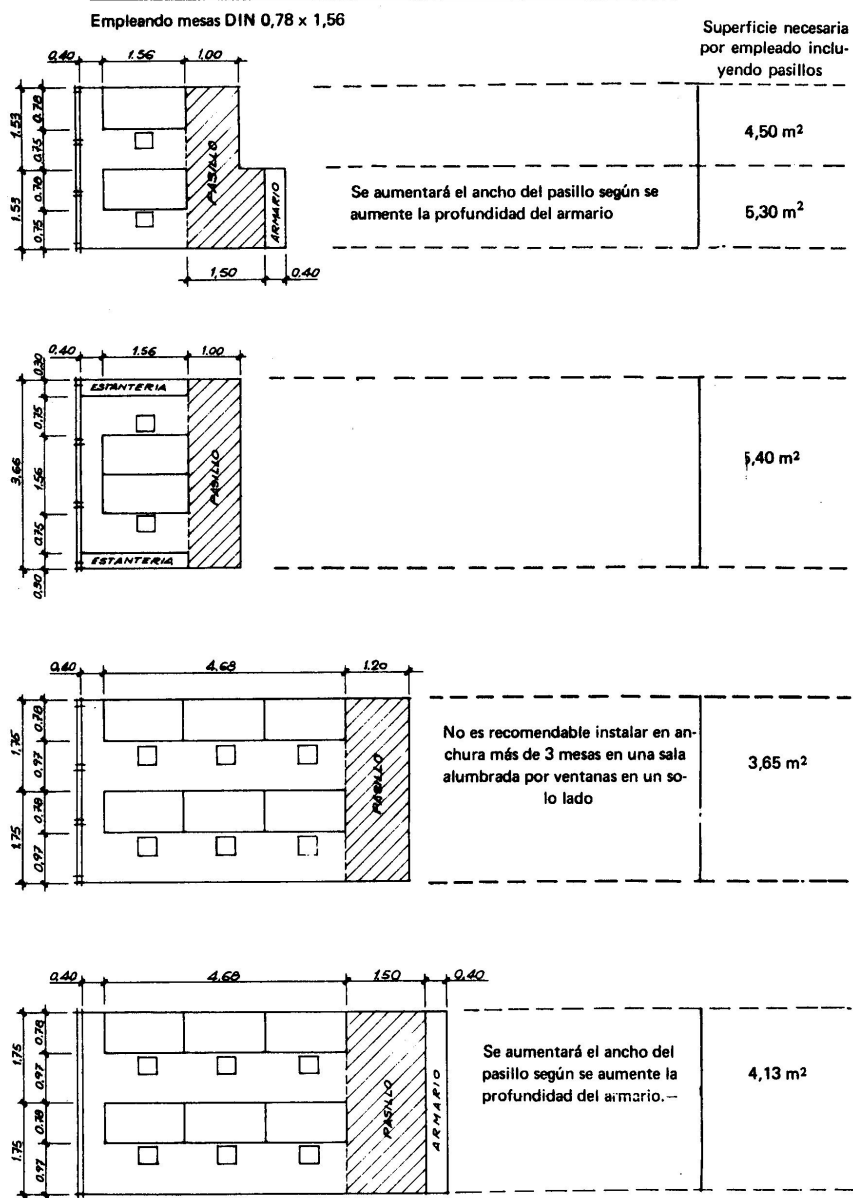
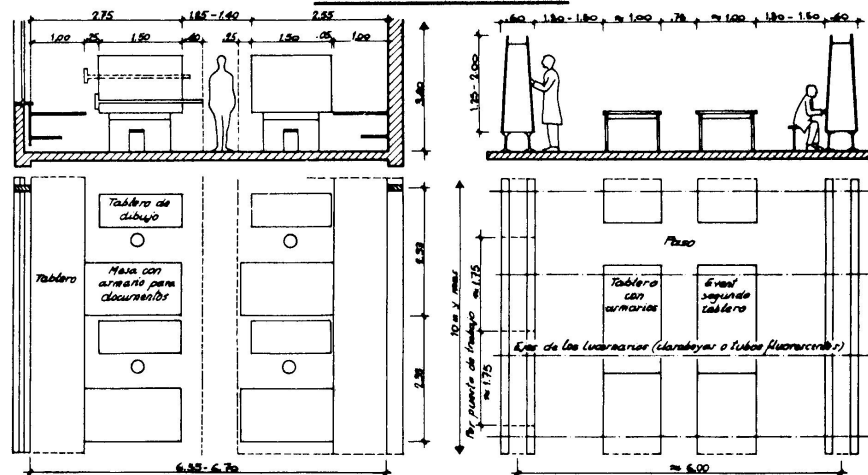


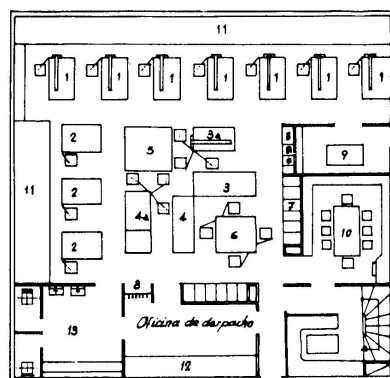
Figura 11.16: Diferentes posibilidades de amueblamiento de oficinas. Fuente: [2].

OFICINAS.— Salas de dibujo

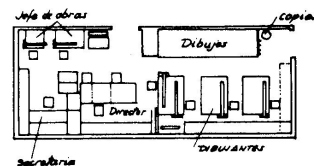


Propuesta de amueblamiento para el departamento de construcciones de una gran empresa. Cada puesto de trabajo se compone de tablero de dibujo, una mesa con armario y una silla giratoria. Hay que tener en cuenta lo que los aparatos de dibujo sobresalen de los bordes cuando se trabaja.

Gran instalación de dibujo con tableros verticales fijos (ejec. Nestler). Cuando los caballetes que sostienen los tableros están fijos, se aprovecha mejor el espacio si están dispuestos en forma tal que los tableros se puedan colocar para trabajar simultáneamente por los dos lados.



Sala de trabajo de una empresa de construcción, con marcada separación entre las secciones de proyectos y de obra.



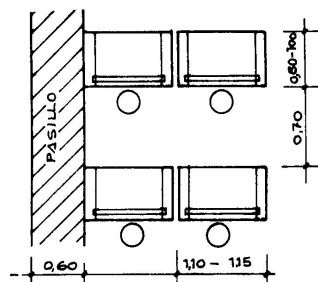
Planta de una pequeña oficina de construcción (sala de trabajo sin cuarto de visitas ni de consultas).

★

1. Arquitecto
2. Jefe de Obras
3. Encargado de la sala
4. Encargado principal de obras
5. Mesa de consultas
6. Escritorio
7. Registro
8. Libros
9. Copias a la luz
- 10; Sala de conferencias.
11. Planos.
12. Mesa para extender planos
13. Guardarropa.

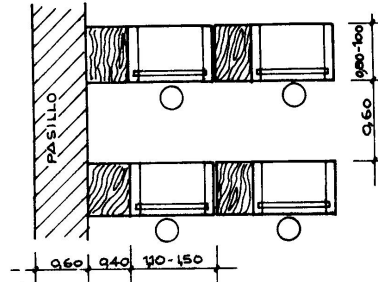
Figura 11.17: Amueblamiento de una sala de dibujo. Fuente: [2].

OFICINAS.— Salas de dibujo



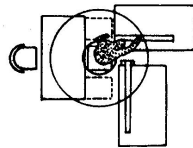
Distribución de tableros de dibujo.
Superficie por plaza, incluyendo los pasillos laterales:

2.55 m² - 3.57 m²

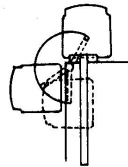


Distribución de tableros de dibujo con un cuerpo de armarios a la izquierda. Superficie por plaza, incluyendo los pasillos laterales:

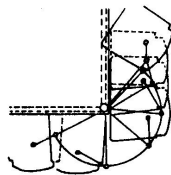
2.94 m² - 4.00 m²



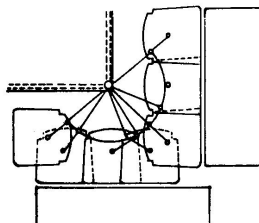
Con una iluminación uniforme se pueden colocar tres mesas juntas con una silla giratoria, lo cual permite ampliar el espacio para trabajar en un radio bastante reducido.



El asiento sobre el brazo giratorio permite gran alcance a la persona que lo ocupa.



El doble brazo giratorio hace posible la traslación del asiento paralelamente al tablero y efectuar trabajos en varias mesas situadas a espaldas y a bastante distancia.



Toda la superficie del tablero corrientemente utilizada puede alcanzarse con un asiento de doble brazo giratorio.

Figura 11.18: Amueblamiento de una sala de dibujo. Fuente: [2].

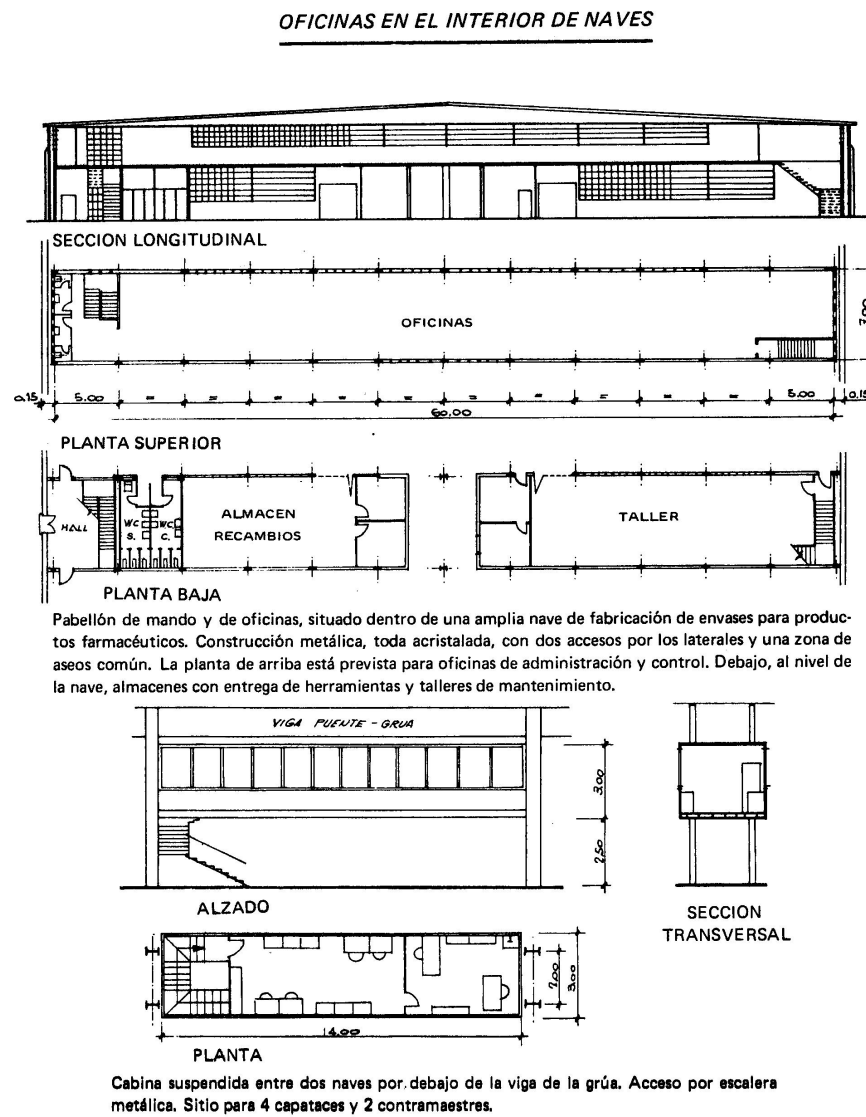
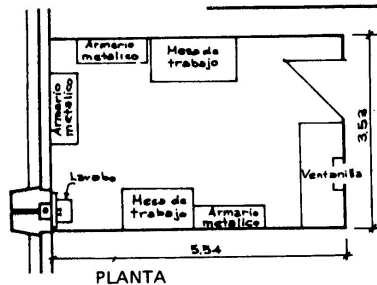
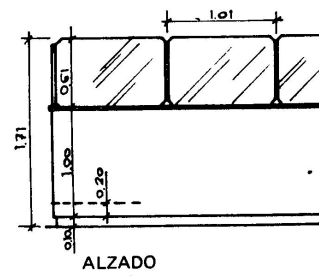


Figura 11.19: Oficinas en el interior de naves industriales. Fuente: [2].

OFICINAS DE CONTRAMAESTRES.— Ejemplos

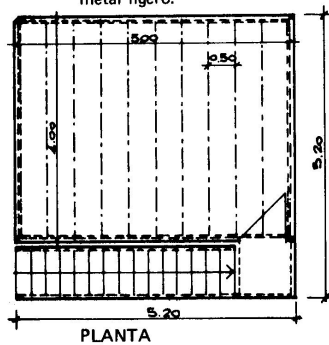


PLANTA

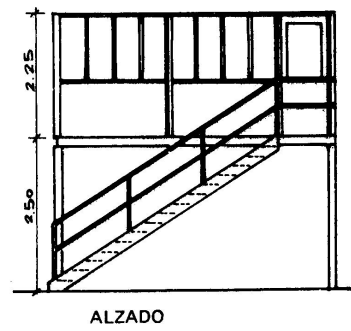


ALZADO

Cabina abierta en una fábrica de máquinas. Suelo sobrelevado. Valla con la parte baja de tableros de madera y encima elementos de cristal de 1 m de longitud, en marcos de metal ligero.

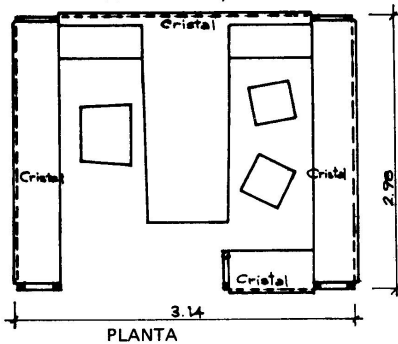


PLANTA

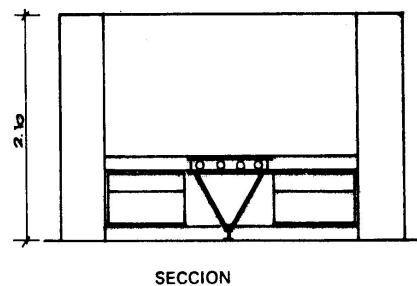


ALZADO

Cabina elevada desmontable. Estructura de acero, suelo de losas de hormigón pretensado de 0,50 x 4,00 m y 2,5 cm de asfalto. Paredes de elementos de acero y cristal. La altura sobre el suelo depende de las necesidades locales.



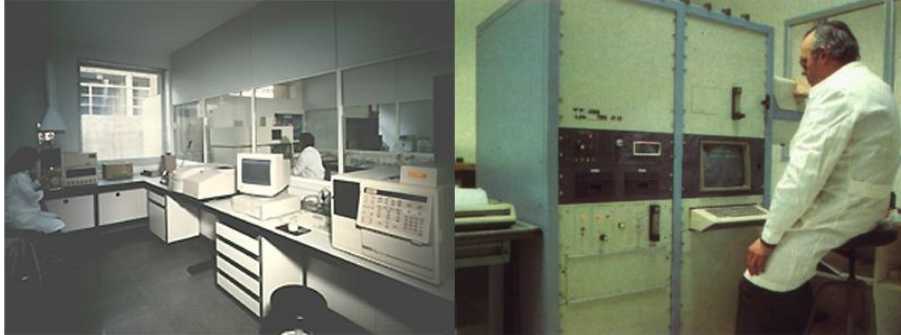
PLANTA



SECCION

Cabina de jefes de grupo en una oficina de dibujo. Paredes con elementos de madera con aislamiento acústico y cristal, mesa de trabajo fija y armarios hasta la altura de la mesa. Sin techo ni puertas. Fácilmente desmontable.

Figura 11.20: Oficinas de contramaestres. Fuente: [2].



PLANTA DE DISTRIBUCION DE UN LABORATORIO

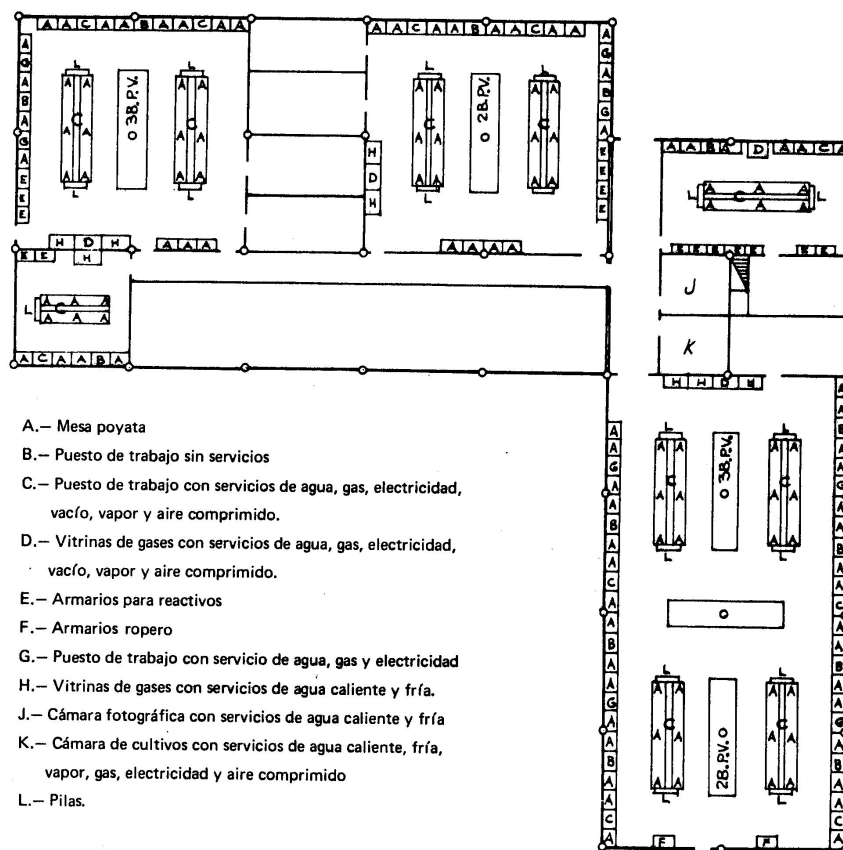
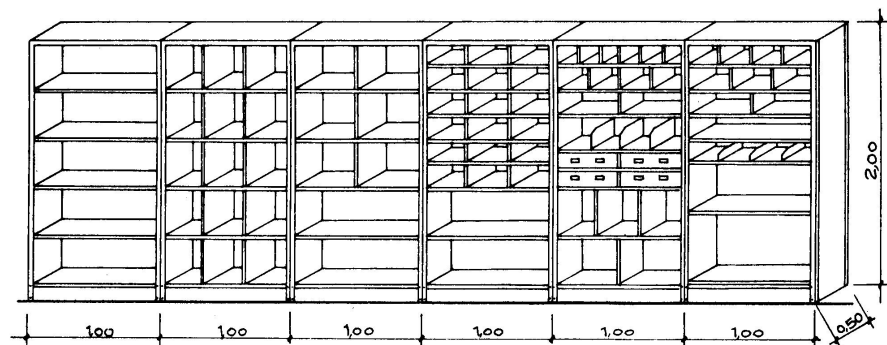


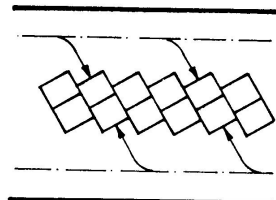
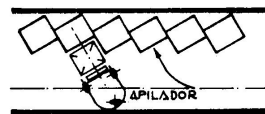
Figura 11.21: Ejemplo de Laboratorios y su distribución. Fuente: [7] y [2].



ALMACENES.— Estanterías y disposición

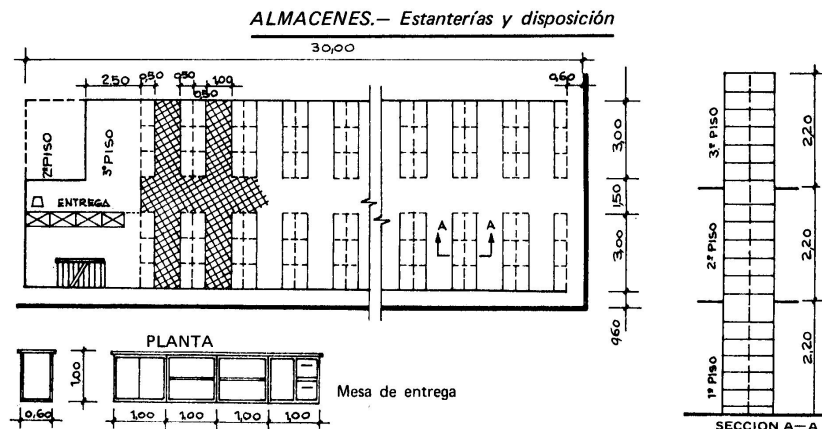


Ejemplo de almacén de uso múltiple. Elementos acoplables en las más distintas formas, adaptándose a los distintos usos. Dimensiones de los elementos: 0,50 x 1,00 m. Construcción de palastro, con elementos intercambiables. Los montantes de ángulo son laminados en frío; fondos y paredes laterales de chapa. Todos los componentes pueden variar de sitio, lo que facilitan los agujeros de que están dotados.

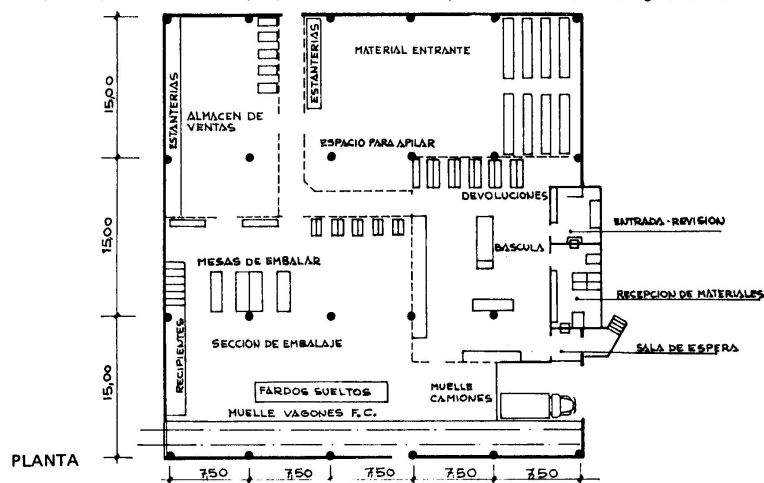


Disposición de los estantes. La disposición oblicua es favorable a las maniobras de los carros elevadores de transporte, pues las curvas de entrada y salida son más fáciles.

Figura 11.22: Ejemplos de almacenes. Tipos de estanterías y forma de colocarlas. Fuente: [7] y [2].



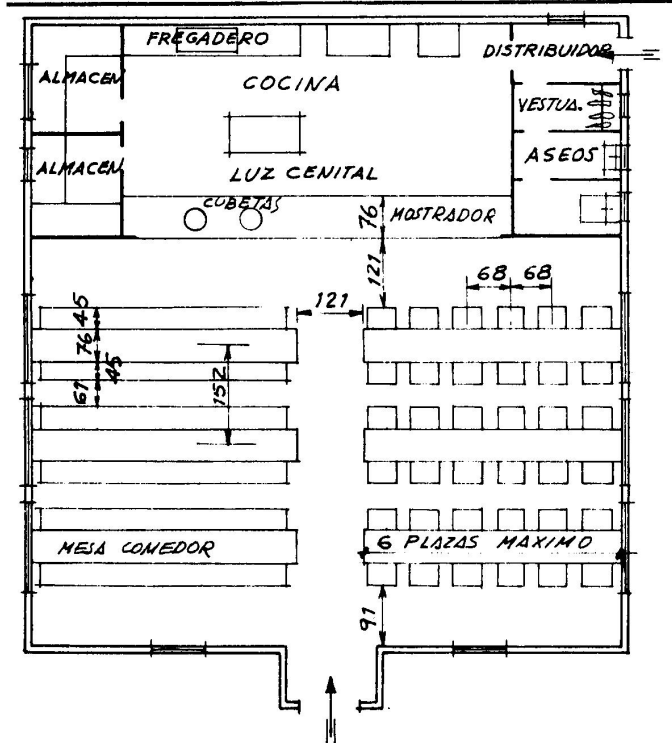
Almacén de varios pisos. Ejemplo de almacén de 3 pisos en una nave de talleres. Montantes de la estantería; tabiques de subdivisión en malla ondulada. Material pesado en los pisos inferiores, ligero en los superiores. Pasillos con suelo de rejilla, de 1,6 t/m² de carga útil. En cada piso la mesa de entregas controla la entrada a las estanterías. Los pasillos pueden ser cerrados por puertas. Las estanterías pueden alcanzarse desde la grúa del local.



Nave de almacenes en un taller de mecánica fina. Disposición general de los almacenes. Delante, oficina de entrada de materiales. Muelles para carga de camiones y vagones de ferrocarril. La altura de los muelles se alcanza por una suave pendiente transversal de toda la nave. Grúa—puente de las 3 naves. Las zonas de trabajo están delimitadas por mamparas de tela metálica. Alumbrado diurno por claraboyas en el caballete de la nave central.

Figura 11.23: Ejemplo de disposición de un almacén. Fuente: [2].

PLANTA TIPO DE SERVICIO DE COMIDAS PREPARADAS



PLANTA TIPO DE SERVICIO COMPLETO DE COMIDAS

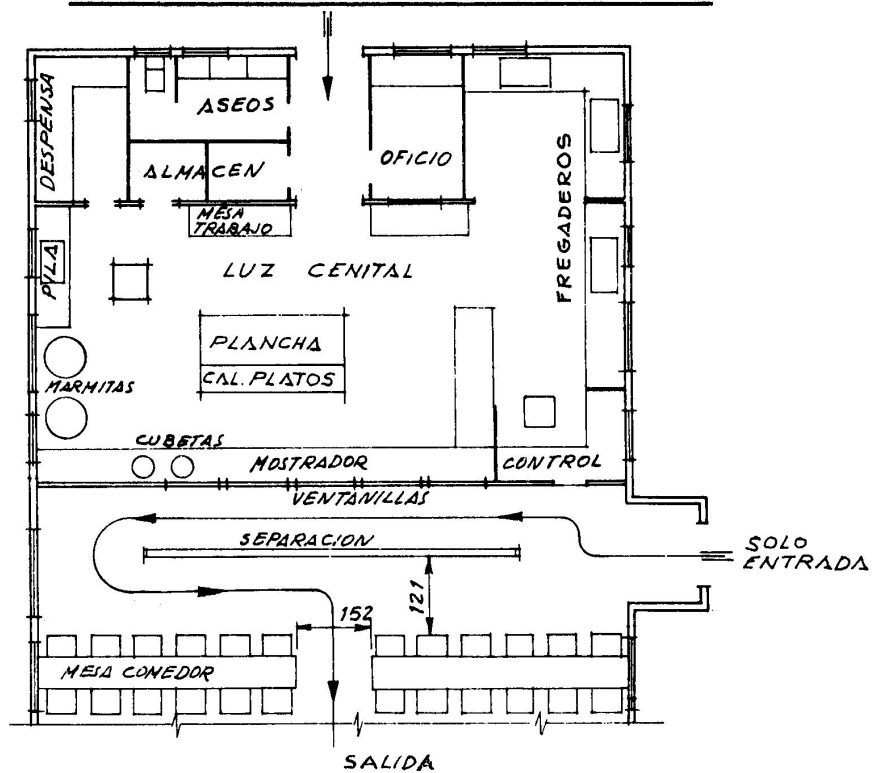
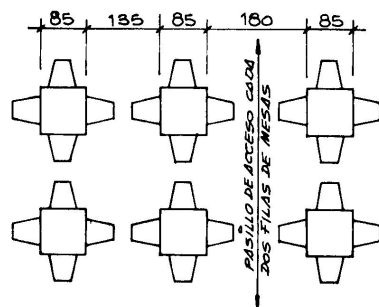


Figura 11.25: Ejemplos de comedores (fuente: [2])

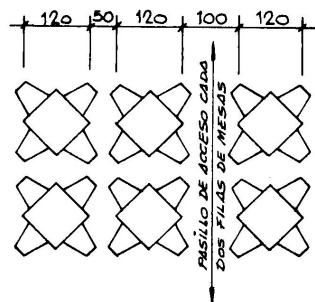
RELACION DE SUPERFICIES PARA RESTAURANTES



MESAS COLOCADAS EN PARALELO

Superficie por mesa con los pasillos correspondientes (2,20 x 2,42) 5,34 m²

Superficie por comensal 1,34 m²

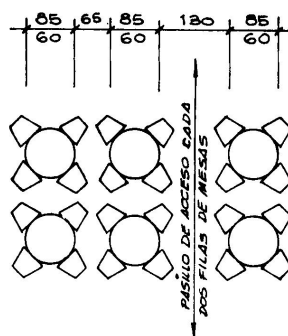


MESAS COLOCADAS EN DIAGONAL

Superficie por mesa con los pasillos correspondientes (1,70 x 1,95) 3,31 m²

Superficie por comensal 0,83 m²

Superficie por comensal, incluida la parte correspondiente a las entradas, mostrador, etc. 1,00 m²



COLOCACION DE MESAS REDONDAS

Mesas de D = 85 cm

Superficie por mesa con los pasillos correspondientes (1,50 x 1,82) 2,74 m²

Superficie por comensal 0,68 m²

Superficie por comensal, incluida la parte correspondiente a las entradas, mostrador, etc. 0,75 m²

Mesas de D = 60 cm

Superficie por mesa con los pasillos correspondientes (1,25 x 1,57) 1,96 m²

Superficie por comensal 0,50 m²

Superficie por comensal incluida la parte correspondiente a las entradas, mostrador, etc. 0,60 m²

Superficie para el servicio, referida a la superficie total 25–50 %

Superficie dedicada exclusivamente a cocina 15–25 %

Figura 11.26: Superficies para restaurantes (fuente: [2])

APARATOS EN VESTUARIOS/ASEOS

APARATOS	OBSERVACIONES
Ducha	1 por cada 20 a 25 personas
Ducha	1 por cada 10 a 15 operarios cuando el trabajo es sucio
Baño	1 por cada 3 operarios ó
	1 por cada 2 operarios, en trabajo muy sucio o en las industrias del ramo de alimentación
Taquilla (o ropero individual)	1 por operario
Taquilla doble	1 por operario en casos de trabajo sucio
Escupidera	1 por cada 50 operarios
Fuente—Surtidor de agua potable	1 por cada 60 operarios (*)
(*) Las fuentes deben disponerse también en las naves, con igual criterio de 1 por cada 60 operarios, teniendo en cuenta a la vez que deben servir aéreas no más lejanas de 100 m del operario más alejado.	

NUMERO DE APARATOS SANITARIOS

APARATOS	PARA PERSONAL MASCULINO
W. C.	1 para 1—15 personas 2 para 16—35 personas 3 para 36—65 personas 4 para 66—100 personas De 101 a 200 personas, añadir en la cantidad de 3 % De 200 personas en adelante, añadir en la cantidad de 2,5 %
Urinarios	Ninguno hasta 6 personas 1 para 7—20 personas 2 para 21—45 personas 3 para 46—70 personas 4 para 71—100 personas, añadir en la cantidad de 3 % De 200 personas en adelante, añadir en la cantidad de 2,5 %
Lavabos	1 ^{cada} para 15 personas hasta 105. → 7 lavabos Para más de 105, añadir en la cantidad de 5 %
	PARA PERSONAL FEMENINO
W. C.	1 para 1—12 personas 2 para 13—25 personas 3 para 26—40 personas 4 para 41—57 personas 5 para 58—77 personas 6 para 78—100 personas De 101 a 200 personas, añadir en la cantidad de 5 % Para más de 200 personas, añadir en la cantidad de 4 %
Lavabos	Igual que para personal masculino

Figura 11.27: Aparatos en Vestuarios o Aseo (fuente: [2])



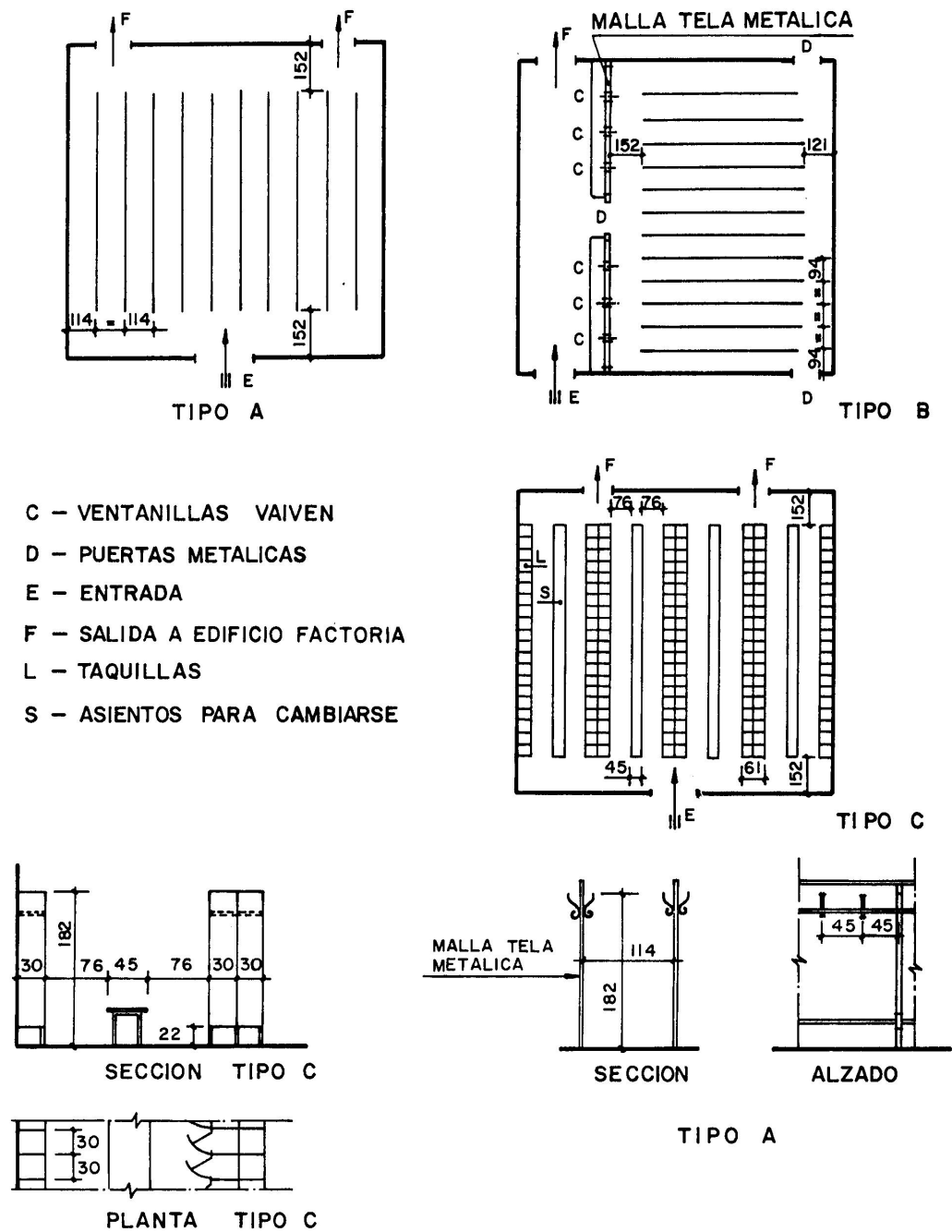
SUPERFICIES PARA VESTUARIOS

	<u>m²/operario</u>
• Superficie para cambiarse de ropa, incluyendo espacio de taquilla y parte de lavabos... ..	0,50 – 0,60
• Superficie para duchas colectivas.	0,50 – 0,55
Además, será preciso considerar superficie para pasillos.	

NUMERO DE APARATOS SANITARIOS EN FUNCION DE SUPERFICIE CONSTRUIDA

SUPERFICIE	APARATOS
100 m ²	1 ó 2 W.C., según el sexo de los operarios.
100 – 250 m ²	2 W.C.
251 – 400 m ²	3 W.C.
400 – 550 m ²	4 W.C.
551 – 750 m ²	5 W.C.
751 – 1000 m ²	6 W.C.
1001 – 1300 m ²	7 W.C.
NOTAS: 1. A partir de 1300 m ² se instalará 1 W.C. más por cada 300 m ² o fracción en exceso. 2. Para el cálculo de superficie no se considerarán las destinadas a almacenes.- 3. El número de retretes se distribuirá para uno u otro sexo, según el número de operarios de cada uno que existan. 4. Para los demás aparatos se seguirá un criterio compatible con esta Tabla y las 2.3 y 2.4	

Figura 11.28: Ejemplos de vestuarios y aseos. Superficie para vestuarios (fuente: [2])



TIPOS DE VESTUARIOS

Figura 11.29: Ejemplos de vestuarios (fuente: [2])

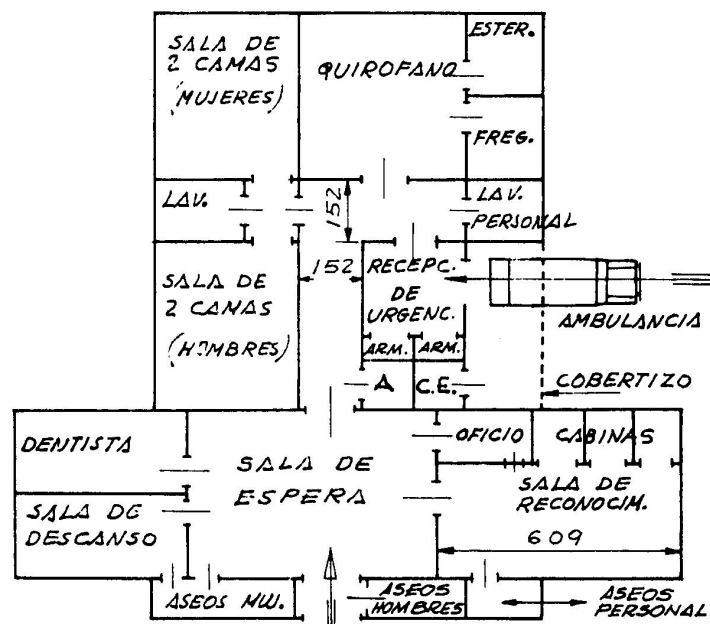
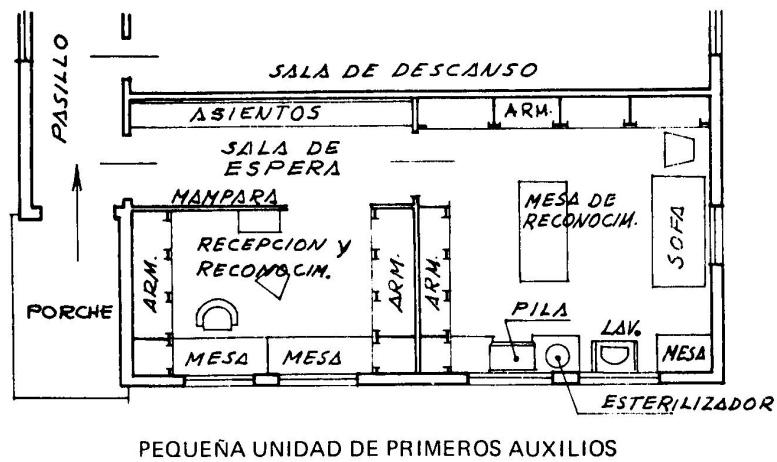


Figura 11.30: Disposición de una sala de servicios médicos (fuente: [2])

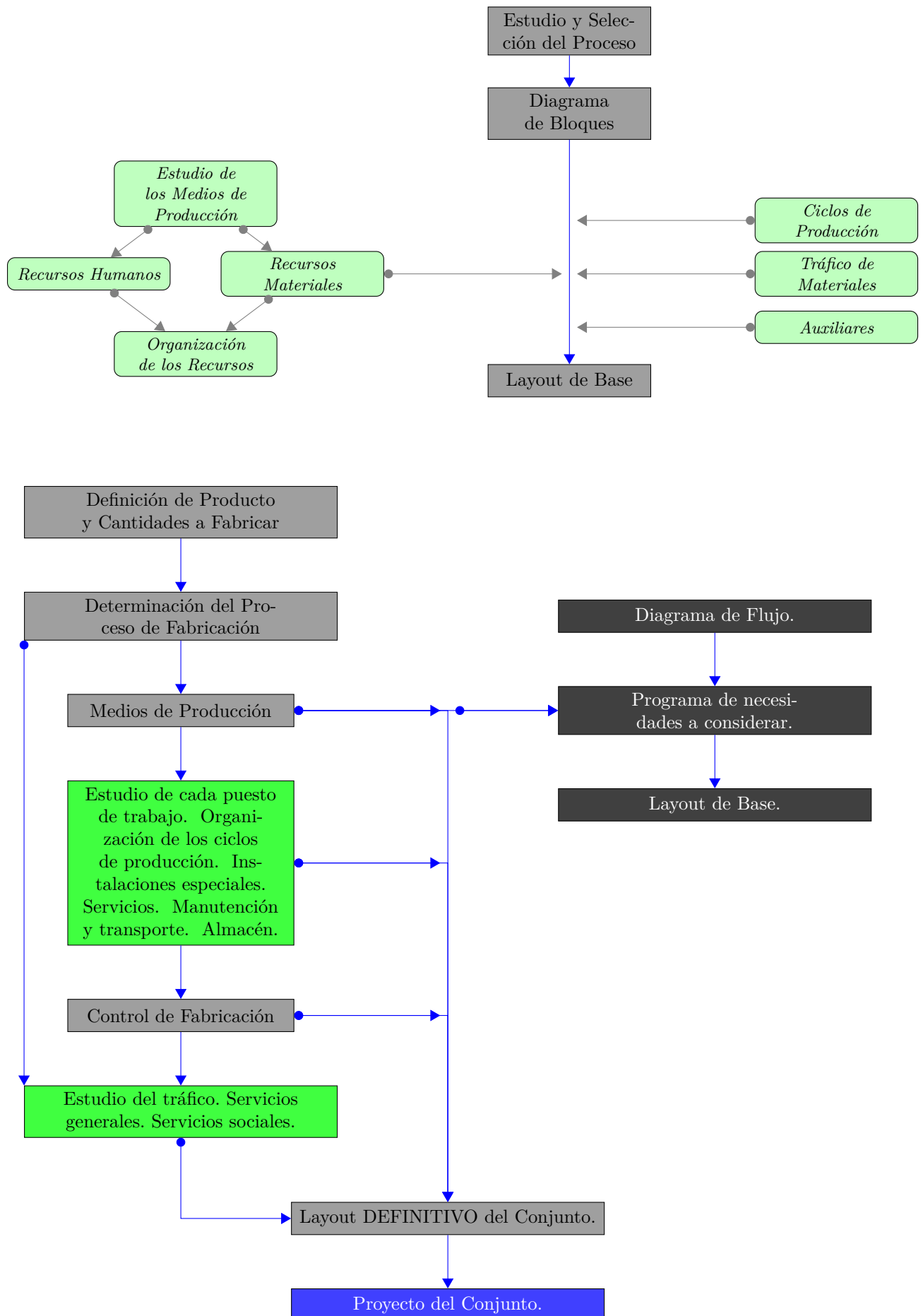


Figura 11.31: Aspectos a tomar en cuenta para el desarrollo del Lay-Out del Proyecto.

Referencias

- [1] DE COS CASTILLO, M. *Teoría del proyecto. Volumen II: Ingeniería de Proyectos/Project Engineering*. Ed. Síntesis, Madrid, 1997.
- [2] DE HEREDIA SCASSO, R. *Arquitectura y urbanismo industrial*. Publicaciones de la Cátedra Construcciones Industriales. Sección de Publicaciones de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid, 1971.
- [3] ESPAÑA. *Real Decreto 379/2001, de 6 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementarias MIE APQ-1, MIE APQ-2, MIE APQ-3, MIE APQ-4, MIE APQ-5, MIE APQ-6 y MIE APQ-7*. Boletín Oficial de Estado, 10 de mayo de 2001, núm. 112, pp. 16838–16929.
- [4] ESPAÑA. *Real Decreto 105/2010, de 5 de febrero, por el que se modifican determinados aspectos de la regulación de los almacenamientos de productos químicos y se aprueba la instrucción técnica complementaria MIE APQ-9 almacenamiento de peróxidos orgánicos*. Boletín Oficial de Estado, 18 de marzo de 2010, núm. 67, pp. 26549–26601.
- [5] GÓMEZ-SENENT, E., AND CAPUZ RIZO, S. *El proyecto y su dirección y gestión*. Servicio de publicaciones de la Universidad Pública de Valencia, 1999.
- [6] HATHHORN, J., SISIKOGLU, E., AND SIR, M. Y. A multi-objective mixed-integer programming model for a multi-floor facility layout. *International Journal of Production Research* 51, 14 (2013), 4223–4239.
- [7] MARTÍNEZ DE PISÓN ASCACIBAR, F. J., ORDIERES MERÉ, J. B., CASTEJÓN LIMAS, M., DE COS JUEZ, F. J., VERGARA GONZÁLEZ, E. P., AND ALBA ELÍAS, F. *La oficina técnica y los proyectos industriales*. Coeditado por el Servicio de publicaciones de la Universidad de La Rioja y AEIPRO, 2001.
- [8] MUTHER, R. *Systematic layout planning*. Cahnerns Books, 1973.
- [9] RAMKUMAR, A. S., PONNAMBALAN, S. G., AND JAWAHAR, N. An evolutionary search heuristic for solving qap formulation in facility layout design. In *Evolutionary Computation, 2007. CEC 2007. IEEE Congress on* (2007), pp. 4005–4011.
- [10] RIZO, S. *Introducción al proyecto de producción. Ingeniería concurrente para el diseño del producto*. Colección Libro docente. Universidad Politécnica de Valencia. Servicio de Publicaciones, 1999.