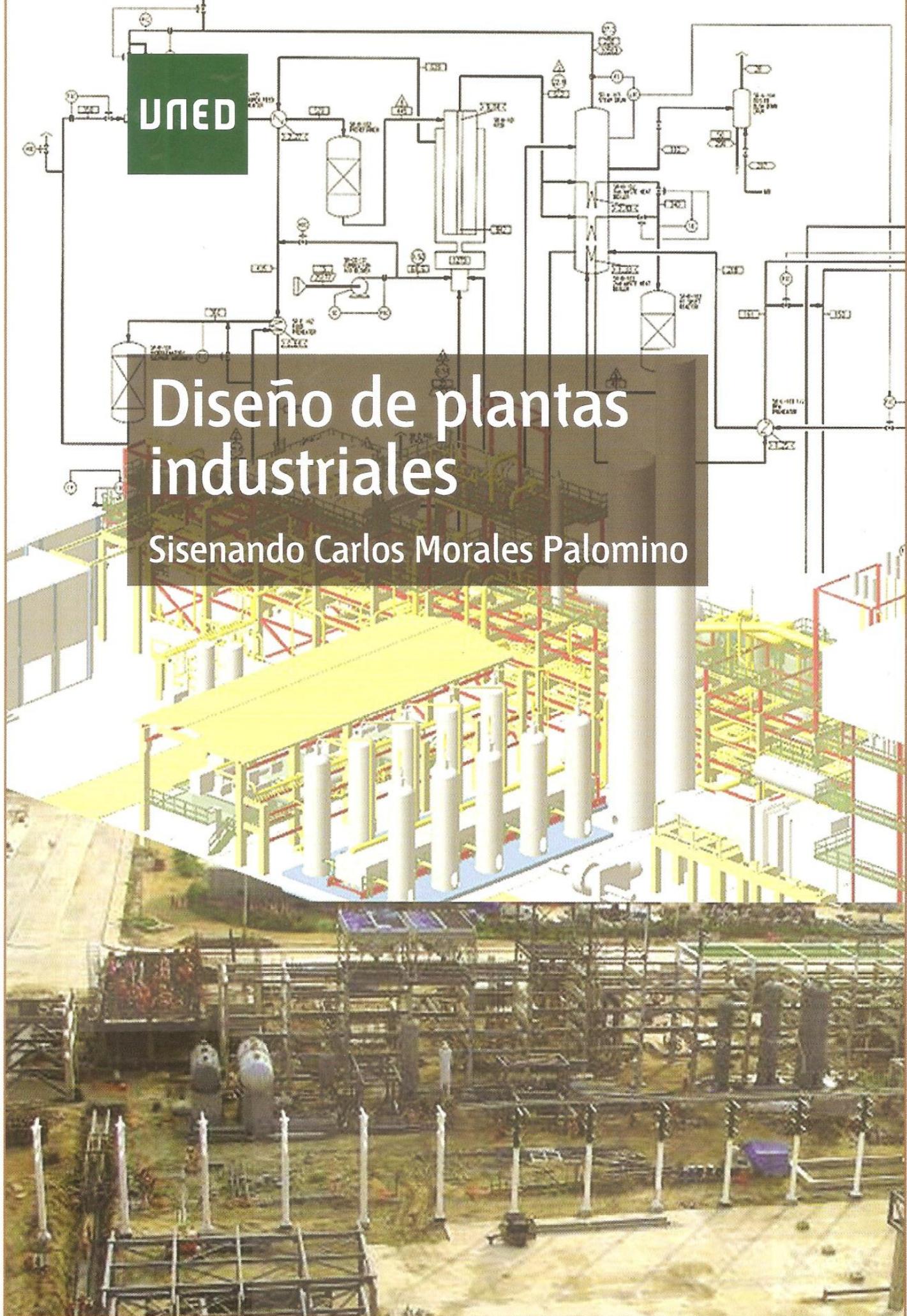




UNED

# Diseño de plantas industriales

Sisenando Carlos Morales Palomino



# *Diseño de plantas industriales*

SISENANDO CARLOS MORALES PALOMINO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN A DISTANCIA

## ÍNDICE

<b>TEMA 1. Conceptos generales .....</b>	7
Presentación, objetivos e índice .....	7
1.1. Definición de Arquitectura Industrial .....	8
1.2. La Planta Industrial.....	9
1.3. Origen y evolución de las Plantas Industriales .....	10
1.4. Bases para el diseño de una Planta Industrial .....	11
1.4.1. El proceso de fabricación.....	11
1.4.2. La economía del sistema.....	12
1.4.3. Las consideraciones humanas.....	13
1.4.4. Las consideraciones ecológico-ambientales .....	13
1.4.5. Las consideraciones estéticas .....	14
Preguntas de autoevaluación.....	15
<b>TEMA 2. La génesis de una Planta Industrial .....</b>	16
Presentación, objetivos e índice .....	16
2.1. Generalidades .....	17
2.2. La viabilidad de la Planta Industrial .....	18
2.2.1. Estudios de mercado.....	18
2.2.2. Estudios de viabilidad técnica .....	19
2.2.3. Estudios de viabilidad económica .....	23
2.2.4. Estudios de viabilidad financiera .....	25
2.3. Estudios de Impacto Ambiental .....	26
2.4. Conclusiones.....	27
Preguntas de autoevaluación.....	28
<b>TEMA 3. Las etapas de realización de una Planta Industrial .....</b>	30
Presentación y objetivos .....	30
3.1. Generalidades.....	31
3.2. Las etapas de realización de una Planta Industrial.....	31
3.3. Los objetivos de cada etapa en fase de estudios .....	32
3.3.1. Confirmación de la tecnología a usar .....	32
3.3.2. Desarrollo de la tecnología a nivel preliminar. Preingeniería .....	32
3.3.3. Obtención de una nueva evaluación económica de la inversión .....	33
3.3.4. Elección de terrenos .....	33
3.3.5. Revisión de los estudios de viabilidad.....	34
3.3.6. Toma de decisión de realizar la Planta Industrial.....	34

3.4. Desarrollo de las etapas para la realización de una Planta Industrial.....	34
3.4.1. Obtención de la tecnología de la Planta .....	34
3.4.2. Realización de la Ingeniería básica o anteproyecto .....	35
3.4.3. Preparación de documentación, tramitación y obtención de permiso.....	37
3.4.4. Realización de la Ingeniería de detalle o Proyecto Constructivo.....	37
3.4.5. Realización de las compras de equipos y/o sistemas. Contratación de Obras Civiles y Montajes.....	39
3.4.6. Construcción de la Planta Industrial .....	40
3.4.7. Puesta en servicio de la Planta Industrial .....	40
3.4.8. Recepción definitiva .....	41
3.5. Secuencia y solapes de la realización de las etapas .....	41
Preguntas de autoevaluación .....	43
 <b>Tema 4. La implantación de la Planta Industrial .....</b>	 45
Presentación, objetivos e índice .....	45
4.1. Generalidades.....	46
4.2. Requisitos a cumplir al realizar la Implantación de una Planta Industrial.	
Objetivos que persiguen.....	47
4.3. Las dependencias de una Planta Industrial.....	49
4.4. Tipos de implantaciones .....	52
4.4.1. Ventajas y limitaciones de las implantaciones en lineal .....	53
4.4.2. Ventajas y limitaciones de las Implantaciones por secciones.....	54
4.5. Ciclo del diseño de una Implantación .....	55
4.6. La implantación por áreas .....	64
4.6.1. Implantaciones en línea.....	66
4.6.2. Implantación por secciones.....	67
4.6.3. El Método Muther .....	67
4.6.3.1. Desarrollo práctico para realizar una Implantación .....	72
4.6.3.2. Evaluación de alternativas y elección de solución.....	76
4.7. La implantación general de la Planta Industrial.....	78
Preguntas de autoevaluación .....	81
 <b>Tema 5. EL TERRENO PARA INSTALAR LA INDUSTRIA.....</b>	 83
Presentación, objetivos e índice .....	83
5.1. Generalidades .....	84
5.2. La localización en la Industria.....	85
5.2.1. Naturaleza de la Industria .....	85

5.2.2. Materias primas a emplear.....	85
5.2.3. Localización de los Mercados a suministrar.....	85
5.2.4. Sistema de transportes adecuados.....	86
5.2.5. Consideraciones sobre mano de obra a emplear.....	86
5.2.6. Consideraciones Ecológicas-Ambientales.....	86
5.2.7. Consideraciones políticas, régimen de subvenciones y aspectos fiscales .....	87
5.2.8. Consideraciones sobre energías disponibles.....	87
5.2.9. Consideraciones sobre la calidad de los terrenos .....	87
5.2.10. Consideraciones acerca de la actitud de los habitantes sobre el establecimiento de la planta en su zona .....	87
5.3. El emplazamiento de la Industria dentro de la localización elegida.....	88
5.3.1. Forma y dimensiones del terreno.....	88
5.3.2. Características del suelo .....	91
5.3.3. Climatología .....	91
5.3.4. Otras consideraciones .....	92
5.3.4.1. Accesos por carretera y ferrocarril .....	92
5.3.4.2. Accesos portuarios.....	93
5.3.4.3. Acceso a infraestructuras existentes .....	94
Preguntas de autoevaluación .....	97
<b>Tema 6. Diseño de Edificios Industriales.....</b>	99
Presentación, objetivos e índice .....	99
6.1. Generalidades y objeto .....	100
6.2. Condicionantes para el diseño de un Edificio Industrial .....	101
6.3. Etapas para el diseño de un edificio industrial .....	103
6.3.1. Dimensionamiento previo del edificio en base a su implantación parcial.....	105
6.3.2. Elección de la tipología de los edificios industriales.....	106
6.3.3. Elección del módulo base y proporciones de un edificio industrial .....	111
6.3.3.1. La coordinación modular .....	111
6.3.3.2. Las proporciones y la sección áurea.....	113
6.4. Dimensionamiento final del edificio industrial .....	114
6.5. La iluminación natural en los edificios industriales .....	116
6.5.1. La iluminación natural.....	116
6.5.2. Criterios de diseño de la iluminación en edificios industriales con luz natural.	117
6.5.3. Sistemas de captación y de control de la iluminación con luz natural .....	124
6.6. La ventilación en los edificios industriales.....	125
6.6.1. Necesidad de ventilación .....	125
6.6.2. La ventilación natural .....	125

6.6.3. La ventilación forzada .....	126
6.6.3.1. Ventilación por extracción de aire.....	126
6.6.3.2. Ventilación por sobrepresión .....	127
6.7. Dimensionamiento final del edificio industrial .....	128
6.8. La iluminación natural en los edificios industriales .....	116
6.8.1. La iluminación natural.....	116
6.8.2. Criterios de diseño de la iluminación en edificios industriales con luz natural.	117
6.8.3. Sistemas de captación y de control de la iluminación con luz natural .....	124
6.9. La ventilación en los edificios industriales .....	125
6.9.1. Necesidad de ventilación.....	125
6.9.2. La ventilación natural .....	125
6.9.3. La ventilación forzada .....	126
6.9.3.1. Ventilación por extracción de aire.....	126
6.9.3.2. Ventilación por sobrepresión .....	127
6.9.3.3. Ventilación por sobrepresión y extracción simultáneas .....	127
6.9.4. Las renovaciones de aire .....	128
Preguntas de autoevaluación .....	129
<b>Tema 7. El Sistema Estructural en los Edificios Industriales .....</b>	<b>131</b>
Presentación, objetivos e índice .....	131
7.1. El sistema estructural. Generalidades.....	132
7.2. Selección de sistemas estructurales.....	135
7.3. Materiales estructurales.....	143
7.3.1. Materiales pétreos.....	143
7.3.2. El hormigón armado .....	144
7.3.3. El hormigón pretensado o postesado .....	144
7.3.4. Materiales metálicos. Acero .....	145
7.3.5. Materiales Metálicos. Aluminio .....	145
7.3.6. Madera .....	145
7.4. Criterios para la elección del material estructural .....	145
7.5. Otras cuestiones a tener en cuenta en los sistemas estructurales.....	146
7.5.1. Flexibilidad en el diseño del edificio industrial.....	146
7.5.2. Las juntas de dilatación .....	147
7.5.3. Los esfuerzos de compresión en piezas esbeltas .....	148
7.5.4. Los arriostramientos .....	148
7.5.5. El coste de los sistemas estructurales y su influencia en la edificación .....	149
Preguntas de autoevaluación .....	150

<b>Tema 8. Las cimentaciones del Edificio Industrial .....</b>	152
Presentación, objetivos e índice .....	152
8.1. Definiciones y sistemas de cimentación.....	153
8.2. Estudio del terreno de cimentación .....	153
8.3. Características funcionales de las estructuras .....	161
8.3.1. Empotramientos.....	161
8.3.2. Articulaciones.....	163
8.3.3. Apoyos deslizantes .....	164
8.4. Cimentaciones .....	165
8.4.1. Sistemas de cimentación.....	165
8.4.2. Cimentaciones por zapatas .....	165
8.4.2.1. Zapatas continuas .....	166
8.4.2.2. Zapatas aisladas.....	167
8.4.2.3. Zapatas excéntricas .....	167
8.4.2.4. Zapatas nervadas .....	168
8.4.2.5. Zapatas unidas por vigas de atado.....	168
8.4.3. Cimentaciones por losas .....	169
8.4.4. Cimentaciones por pozos o pilares .....	170
8.4.5. Cimentaciones por pilotes .....	170
8.4.5.1. Pilotes prefabricados .....	171
8.5. Cimentaciones especiales .....	173
8.5.1. Generalidades .....	173
8.5.2. Materiales .....	174
8.5.3. Anclajes .....	174
8.5.4. Terrenos.....	175
8.5.5. Tipos de esfuerzos que producen las máquinas .....	175
Preguntas de autoevaluación .....	178
<b>Tema 9. Los cerramientos y pavimentos en Edificios Industriales .....</b>	
Presentación, objetivos e índice .....	180
9.1. Generalidades .....	181
9.2. Las fachadas .....	182
9.2.1. Fachadas realizadas in situ .....	183
9.2.1.1. Fachadas de fábrica de ladrillo.....	183
9.2.1.2. Fachadas de bloques de hormigón.....	185
9.2.1.3. Fachadas de hormigón en masa o armado.....	186
9.2.2. Fachadas realizadas en taller y montadas in situ .....	186
9.2.2.1. Paneles de hormigón prefabricado .....	186

9.2.2.2. Paneles de chapa metálica .....	187
9.3. Las cubiertas en los edificios de las Planta Industriales.....	189
9.3.1. Cubiertas inclinadas.....	190
9.3.2. Cubiertas planas.....	194
9.4. Las soleras.....	195
9.5. Los pavimentos en Plantas Industriales.....	197
9.5.1. Pavimentos rígidos continuos.....	197
9.5.2. Pavimentos rígidos discontinuos .....	199
9.5.3. Pavimentos flexibles.....	199
Preguntas de autoevaluación .....	200
<b>Tema 10. Recopilación de legislación aplicable a Plantas Industriales .....</b>	<b>201</b>
Presentación, objetivos y sumario .....	201
10.1. Normas de carácter general sobre la edificación.....	202
10.2. Normas sobre estructuras en la edificación .....	202
10.3. Seguridad en la utilización, salubridad .....	203
10.4. Equipos e Instalaciones generales .....	204
10.5. Instalaciones de combustibles líquidos .....	205
10.6. Instalaciones de combustibles gaseosos .....	206
10.7. Almacenamiento de productos químicos .....	207
10.8. Instalaciones de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria .....	207
10.9. Instalaciones eléctricas.....	208
10.10. Instalaciones de protección contra incendios .....	209
10.11. Prevención de Riesgos Laborales.....	210
10.12. Legislación Medio Ambiente .....	211
10.13. Evaluación del impacto Ambiental .....	212
ANEXO 1. Ejemplo. Estudio de Viabilidad Económico de una Planta Industrial.....	214
ANEXO 2. Ejemplo. Implantación parcial de una planta industrial .....	220
ANEXO 3. Ejemplo. Implantación general de una planta industrial .....	223

## Tema 1

### Conceptos generales

#### **Presentación**

Este tema 1 se refiere a las definiciones de lo que es la Arquitectura Industrial, así como a la definición de lo que es una Planta Industrial, como medio de la producción. Se exponen los orígenes y la evolución de las plantas Industriales a lo largo del tiempo y se establecen los principales conceptos en relación con las bases de diseño de una Planta Industrial.

#### **Objetivos**

- Dar a conocer lo que es la Arquitectura Industrial y sus condicionantes.
- Definir lo que es una Planta Industrial y las condiciones para su supervivencia.
- Mostrar una breve descripción de la evolución de las Plantas Industriales.
- Establecer las bases a tener en cuenta en el diseño tanto desde el punto de vista técnico como económico.
- Asimismo, mostrar la importancia de las consideraciones humanas en el diseño.
- Mostrar la importancia que en determinados supuestos tienen las cuestiones ecológico-ambientales en el diseño.
- También mostrar la importancia de las consideraciones de tipo estético en el diseño de las plantas Industriales.

Los contenidos de este primer tema están orientados a dar a los Graduados en Ingeniería Mecánica y otras graduaciones en Tecnologías Industriales una visión global de los requisitos que debe cumplir una Planta Industrial.

## **1.1. Definición de Arquitectura Industrial**

El Diccionario de la Real Academia Española dice que ARQUITECTURA es el Arte de proyectar y construir edificios (menciona la Arquitectura Civil, la Hidráulica, la Militar, la Naval y la Religiosa, y dice de esta última, que es el Arte de construir templos, monasterios, sepulcros y demás edificios de carácter religioso).

Basándonos en la definición anterior, podemos decir que Arquitectura Industrial es el Arte de proyectar y construir Industrias o Plantas Industriales o Instalaciones fabriles dedicadas a producir.

En el libro del profesor Heredia, titulado *Arquitectura y urbanismo industrial*, se dice que el fin principal de la Arquitectura Industrial es proyectar y construir instalaciones industriales de toda índole, en donde los edificios pueden tener carácter secundario o incluso no existir como elementos principales de la construcción y en donde todo ha de estar dirigido al cumplimiento de las necesidades impuestas por un proceso industrial de producción. Por tanto, los factores económicos son preponderantes ya que lo que se vaya a proyectar y construir es solo un medio para producir.

Esta definición, evidentemente, enriquece y matiza la definición del diccionario y la propuesta anteriormente por nosotros y en todo caso no la invalida en ningún aspecto.

Si hacemos referencia a la Arquitectura Religiosa, que antes mencionábamos, es completamente cierto que las construcciones religiosas y podemos referirnos a una catedral, están diseñadas de acuerdo con la Liturgia que se va a realizar en ellas, según la Religión que se practique. Pues bien, las Plantas Industriales hay que hacerlas a la medida del proceso de producción que se haya elegido. Podríamos incluso decir, aunque no sea muy ortodoxo, que el proceso de producción es la Liturgia de la Planta Industrial. Por otra parte, también el diccionario dice que el ingeniero industrial es el que entiende en todo lo concerniente a la industria fabril. Dentro de esto se puede entender que es el más adecuado para el diseño y construcción de Plantas e Instalaciones Industriales.

No debemos perder de vista que al igual que la Arquitectura es un Arte, también la Arquitectura Industrial lo es, quizás con la necesidad de cumplir unos condicionantes mucho más rígidos y estrictos, que en cierto modo limitan las posibilidades de los creadores de las Plantas Industriales. Estas limitaciones son las que habitualmente imponen los procesos de fabricación y las características de los lugares de ubicación.

En cierto modo, para simplificar y para hacer más entendibles los conceptos, la Arquitectura Industrial se debe de ocupar de ordenar de acuerdo con un proceso elegido todos los elementos y obras civiles que constituyen la planta industrial, y que situados en ese orden en una ubicación, que también impone limitaciones, son capaces de producir algo. Así pues, la Arquitectura Industrial se enfrenta a la resolución de problemas que admiten infinitas soluciones. Eligiendo solo las infinitas soluciones buenas, nos encontraríamos en todo caso, con incertidumbre y falta de seguridad en saber que entre las infinitas soluciones hemos elegido la mejor o la menos mala. Este libro trata de facilitar las cosas en este sentido

## **1.2. LA PLANTA INDUSTRIAL**

Una Planta Industrial es un medio para producir algo, y normalmente situada en un entorno empresarial, condicionado a su vez por un Mercado en el cual se coloca el producto objeto de la fabricación. Según esto, y dentro de la Teoría de Sistemas, una Planta Industrial es un subsistema del Sistema Empresa que ha de satisfacer los requerimientos de este Sistema, a la vez que los que impone su propio entorno. Todo esto da lugar a unas interacciones que dan lugar a que la Planta Industrial, y todos sus componentes, no puedan permanecer y actuar de forma independiente. El Mercado y el entorno más próximo a la Planta ejercen una gran influencia, lo cual debe ser tenido en cuenta en el diseño.

Realmente una Planta Industrial es una combinación de recursos materiales y humanos que actúan ordenadamente siguiendo un Proceso de Fabricación, previamente elegido como el más idóneo para actuar en el entorno de la Planta. Lo anterior no es suficiente para justificar la existencia de una Planta Industrial, sino que además, y precisamente por las interacciones existentes, la producción debe hacerse de una forma competitiva para asegurar su supervivencia. Esto quiere decir que la Planta Industrial debe producir lo que el mercado requiera, en las cantidades adecuadas a ese mercado y con la calidad y precio que el Mercado admite. No vale hacer una fábrica que produzca mucho de un producto, aunque sea a un coste muy bajo, si el Mercado no lo admite. Igualmente sucedería en el caso de producir demasiado poco, porque el Mercado sustituiría el producto, incluso por otro de mayor coste.

Resulta que, el problema de concebir, diseñar y construir una Planta Industrial es muy complejo, y normalmente con muchas incertidumbres. Los datos iniciales de partida son el producto a fabricar, y sus cantidades a lo largo del tiempo y la calidad

(especificación precisa del producto). También otro dato es el precio al cual el Mercado aceptaría el Producto. La incógnita es CÓMO DEBE SER LA PLANTA INDUSTRIAL, para cumplir estos requisitos, dentro de un determinado entorno, en el cual la localización juega un gran papel.

Dentro de este planteamiento nos surgen dos preguntas clave:

- Cómo hacer la fabricación.
- Dónde situar la Planta Industrial.

A la primera gran pregunta hay que responder: con este PROCESO de fabricación, es decir, qué operaciones unitarias hay que realizar. Las operaciones unitarias serán hechas con estos medios materiales y con estos recursos humanos.

A la segunda pregunta se ha de responder: en aquella ubicación que proporcione mejor todos los elementos que se necesitan para la producción y que facilite la solución más económica para el movimiento de las materias primas y los productos elaborados y semielaborados. La economía de la producción y por tanto el coste de ejecución de la Planta Industrial tienen la mayor importancia. Resulta que los conocimientos de «Cómo Hacer» junto con la economía, así como del lugar de implantación, condicionan todo lo demás.

### **1.3. ORIGEN Y EVOLUCIÓN DE LAS PLANTAS INDUSTRIALES**

Las Plantas Industriales son tan antiguas como la humanidad. El hombre siempre ha querido hacer cosas que mejoraran su posición en el entorno en que desarrollaba sus actividades. El hecho de hacer un hacha o una lanza en la Prehistoria, significaba una fabricación que, evidentemente, se hacía de un modo artesanal, pero siempre siguiendo un modo de hacer que realmente era el proceso de fabricación de ese producto, llamado hacha o llamado lanza. Las hachas y lanzas que se producían estaban hechas para un uso que condicionaba el material con que deberían estar construidas y sus dimensiones. Todo esto fue evolucionando según aumentaban los conocimientos de los seres humanos, es decir, los procesos de fabricación iban evolucionando y provocando mejoras evidentes.

Todos estos criterios permanecieron hasta el siglo xviii (en 1769 se inventa la máquina de vapor), que dio lugar a la revolución industrial, que comienza en la industria textil en Inglaterra gracias a la fuente de energía mencionada.

Se crean grandes fábricas que necesitan cantidades ingentes de mano de obra, prácticamente no cualificada, la cual a su vez provoca que nazcan núcleos de población

alrededor de las fábricas, donde actúa la mano' de obra. Prevalece la fábrica sobre todo lo demás y la mano de obra sobrevive sumida en el desorden y en el caos. La mano de obra aparece como una cuestión secundaria a la cual se le presta muy poca atención por parte del inversor industrial.

A lo largo del siglo xix, se producen movimientos sociales a favor de una mejora de las condiciones de trabajo y posteriormente incluso con mayor intensidad en el siglo xx. Todos estos movimientos han continuado hasta nuestros días hasta hacer que la mano de obra industrial sea considerada como un factor importante de la producción, que hay que considerar mucho y sobre todo cuidar; es decir esta evolución continuada actualmente debe condicionar decisivamente el diseño y la operación de una Planta Industrial.

Los anteriores cambios de carácter social fueron acompañados de una mejora tecnológica muy sustancial de los procesos de fabricación y en las máquinas y elementos materiales que realizaban las operaciones unitarias, que tenían que ser diseñadas o elegidas precisamente para satisfacer las demandas de todo tipo y que los puestos de trabajo requerían; todo ello conducía a hacer más operativos los conjuntos productivos.

Las nuevas ideologías contribuyeron a que el concepto de Planta Industrial fuera evolucionando de una forma muy positiva hasta la situación actual.

#### **1.4. BASES PARA EL DISEÑO DE UNA PLANTA INDUSTRIAL**

Las bases para el diseño de una Planta Industrial se asientan en los siguientes factores:

- El proceso de fabricación.
- La economía del sistema.
- Las consideraciones humanas.
- Las consideraciones Ecológico-Ambientales.
- Las consideraciones estéticas.

A continuación analizaremos la influencia de los factores anteriores:

##### **1.4.1. El proceso de fabricación**

Es lo más excluyente y definitorio. Si no hay proceso (modo de hacer), no hay producción y por tanto no habrá fábrica o Planta Industrial.

Podíamos definir el Proceso de Fabricación como el modo de hacer algo. Concretando el Proceso de Fabricación de un producto a partir de unas materias primas o semielaboradas significa el conjunto ordenado de operaciones unitarias a las que tenemos que someter estas materias primas o semielaboradas para llegar al producto final.

¿Cómo definimos lo que es una operación unitaria a estos efectos? Pues bien, las operaciones unitarias significan los cambios de carácter físico, fisicoquímico o químico de las materias primas o productos semielaborados que realizamos en una Planta Industrial. Más adelante profundizaremos en esto.

El concepto de Proceso representa el modo de hacer algo (producto) a través de una serie de transformaciones parciales, físicas o químicas, que llamamos operaciones unitarias.

En resumen, para hacer algo, la primera cuestión a responder es con qué Proceso vamos a hacerlo o cómo lo vamos a producir. Hay que considerar qué en la práctica, hay diferentes procesos o modos de hacer que cumplen la misma función, con incluso diferentes operaciones unitarias o bien con diferentes materias primas.

#### **1.4.2. La Economía del sistema**

En todos los casos, bien porque el Inversor o Promotor busque una rentabilidad económica (beneficios) o bien porque busque una rentabilidad social (satisfacer a un colectivo mayor), hay que considerar la economía de los sistemas; es decir, buscar la máxima rentabilidad económica o social con la inversión mínima necesaria para cumplir esto. Los condicionantes pueden venir dados por el lado del mercado o por el lado de la limitación de los recursos. Indicamos dos situaciones concretas:

- El Mercado acepta este producto con esta calidad, pero con este límite de precio. No podemos fabricarlo con mayor coste porque el mercado no lo aceptaría con estas cantidades.
- Estamos limitados a esta cifra de inversión porque no tenemos más recursos disponibles. Es frecuente que esto suceda cuando se busca una rentabilidad social a una inversión.

En todo caso, hay que considerar de una gran importancia la economía de los sistemas fabriles, hasta tal punto que para elegir un proceso de fabricación, entre varios disponibles, las razones económicas pueden ser decisivas.

#### **1.4.3. Las consideraciones humanas**

El factor humano en los tiempos actuales tiene una gran importancia, bien por la necesidad de una cualificación o bien por la necesidad imprescindible de unos determinados modos de convivencia. Por ejemplo, compañías multinacionales que fabrican productos muy sofisticados, de alto valor añadido, eligieron Madrid para localizarse por la facilidad de encontrar ingenieros muy preparados, capaces de aprender sus tecnologías en muy corto plazo.

En los momentos actuales, podemos asegurar que la cualificación de la mano de obra prima sobre otros factores, como la cantidad de mano de obra disponible. Esto también da lugar a que cuanto más cualificada tiene que ser la mano de obra necesaria para operar, en los puestos de trabajo de un proceso de fabricación, resulta que sus necesidades son mayores. Recordemos que las necesidades de un obrero de la industria textil del siglo xix y las de un ingeniero fabricando microchips actualmente son muy diferentes afortunadamente. En el diseño de una Planta Industrial hay que prestar una gran atención a las necesidades sociales que requiere la mano de obra dedicada a la producción, servicios auxiliares y resto de servicios que tiene una factoría.

#### **1.4.4. Las consideraciones Ecológico-Ambientales**

Esto afecta tanto al interior como al exterior de una Planta Industrial. Necesitamos que el ambiente interior en todas las dependencias de la Planta sea el adecuado, tanto para las personas como para las máquinas o elementos de la producción (temperatura, humedad relativa, ruido, composición del aire, etc.) y también que la Planta Industrial no realice emisiones al exterior de tipo sólido, líquido o gaseoso, o incluso radioactivo, que perturben el entorno próximo o lejano de la Planta. En el supuesto de que esto sucediera habría que establecer las medidas correctoras adecuadas.

Hay que estudiar y siempre limitar el Impacto Ambiental, en el exterior de las Plantas de tal manera que la perturbación en el medio ambiente sea mínima y en todo caso aceptable. Recordemos el caso del trazado de un gaseoducto por zonas protegidas.

En términos generales, debemos afirmar con rotundidad que no debemos limitarnos a actuar para la mejora de los efluentes de una Planta, sino que debemos intentar con prioridad actuar sobre las operaciones unitarias del Proceso, precisamente para reducir en lo posible el caudal de los mismos y minimizar el contenido en productos y

compuestos dañinos. Los ingenieros de Proceso deben jugar un gran papel en esta cuestión.

En resumen, hay que tener muy en cuenta las cuestiones Ecológico-Ambientales en el diseño de una Planta Industrial, porque incluso pueden cuestionar la viabilidad de la planta en un determinado lugar.

#### **1.4.5. Las consideraciones estéticas**

Aunque las hayamos puesto en último lugar, no quiere decir que sean las menos importantes. Antes de realizar el Proyecto de una Planta Industrial, hay que plantearse hasta qué punto la imagen que dé la Planta, puede traducirse en mayores o menores ventas, o aceptación social. Este concepto tiene diferente medida según el producto a fabricar. Es fácil comprender que la estética de una planta de cemento tiene menos importancia que la de una Planta de Productos de Cosmética.

En cada caso se debe hacer una valoración de la importancia de la imagen, e incluso de su presentación en la ubicación elegida, analizando los factores, especialmente los cualitativos, que pueda dar su imagen. En bastantes casos se debe estimar la sobreinversión que puede representar la mejora de cualidades estéticas. Entendemos que en todos los casos será necesario con mayor o menor intensidad cuidar la imagen. Siempre será positivo.

Como conclusión de lo anterior y visto la complejidad de todos los factores que intervienen (que además salvo los tecnológicos y los económicos, los demás son difícilmente cuantificables) nos encontramos para cada caso de diseño, con muchas soluciones posibles para un mismo problema o con la posibilidad de no llevar adelante la planta por razones excluyentes en una determinada localización.

## **PREGUNTAS DE AUTOEVALUACIÓN**

### **Tema primero**

1. Indicar las diferencias entre Arquitectura Industrial y Arquitectura. En relación con la Arquitectura Militar, ¿existe un proceso en esta Arquitectura?
2. ¿Qué tienen en común el diseño de una vivienda y el de una fábrica de producir ácido nítrico?
3. ¿Qué es una operación unitaria en un proceso? ¿Pueden influir las cantidades de producto a transformar en el modo de hacer esta operación unitaria?
4. ¿En qué medida una limitación presupuestaria puede en un diseño alterar su concepto?
5. Una diferente ordenación de los medios de producción de un proceso de fabricación puede modificar la inversión. Explicar por qué.
6. Tenemos un Proceso A, otro B y otro C, los cuales a partir de unas materias primas pueden producir los mismos productos acabados. ¿Cuáles son los criterios para elegir al más conveniente de los tres?
7. ¿Cómo evaluaría que hemos hecho una elección correcta del Proceso anterior?  
Razonarlo en fase de diseño y en fase de explotación.
8. Comentar si las mejoras en las condiciones de los puestos de trabajo pueden dar lugar a mejoras en la producción.
9. ¿Hasta qué punto las consideraciones Ecológico-Ambientales pueden condicionar el diseño y la construcción de una planta industrial o incluso una obra lineal?  
Mencionar varios supuestos.
10. ¿A Vd. le parece razonable que se obligue a una Comunidad a aumentar una inversión en una infraestructura porque una especie animal pueda ser molestada o desplazada de su hábitat? Justificar la respuesta.

## Tema 2

### La génesis de una Planta Industrial

#### **Presentación**

El tema 2 se refiere a la Génesis de la Planta Industrial, y contiene aquellos aspectos tales como los Estudios de Mercado, Estudios Técnicos y Estudios Económicos y Financieros necesarios, para llegar a determinar la viabilidad del diseño y de la Construcción de una nueva Planta Industrial o de la ampliación de una Planta existente, todo ello dentro de las condiciones que imponen los Mercados.

#### **Objetivos**

- Relacionar los Estudios necesarios para conocer la viabilidad de la realización de una nueva Planta Industrial o la ampliación de una Planta existente.
- Dar a conocer los principales contenidos de un Estudio de Mercado y las limitaciones e incertidumbres que puede presentar.
- Conocimiento de los parámetros principales a considerar en los estudios de viabilidad técnica, tales como tecnología a adquirir, alternativas en cuanto a suministradores de tecnología, modos de contratación y plazos de entrega.
- Conocimiento de la rentabilidad de una inversión en una Planta Industrial, así como de soluciones alternativas. Explicación de una herramienta para que los diseñadores de Plantas puedan conocer el alcance económico de sus decisiones. Se ilustra con un ejemplo y con un software elemental en el Anexo n.º 1.
- Dar a conocer de una manera elemental los contenidos de un Estudio de Viabilidad Financiera.

Hay que hacer notar que los contenidos para cubrir los objetivos anteriores, que tienen un carácter multidisciplinar, están orientados básicamente a crear una mentalidad del actuar de los futuros ingenieros. Se orientan los temas, más con el objetivo de que se sepa interpretar un estudio que a la realización del mismo.

## **2.1. GENERALIDADES**

Una Planta Industrial es un medio para producir y es un subsistema dentro de un sistema empresarial (empresa o grupo de empresas), que normalmente utilizará esta Planta para mejorar su beneficio.

En términos generales, la motivación empresarial de una entidad promotora es mejorar aumentando el beneficio a través de la operación de la nueva Planta Industrial. Esta operación de la nueva Planta a veces sirve para reducir costes, proporcionando así el aumento de beneficio en un conjunto. Lo anterior nos lleva a afirmar que la razón empresarial de realizar una Planta Industrial es en todo caso el ánimo de lucro a través de un aumento de los beneficios empresariales.

El fracaso de la idea empresarial de construir una Planta Industrial será la pérdida de la totalidad o parte de la inversión realizada y también normalmente de la pérdida de prestigio de sus dirigentes.

En algunos casos, las Plantas Industriales las promueven las autoridades (centrales, autonómicas, provinciales o locales). En estos casos la prioridad no la tiene generalmente el ánimo de lucro, sino los fines sociales (dotar a la comunidad de un determinado producto, aumentar la población ocupada, etc.). En estos casos el fin social que se persigue, al realizar la planta, impone que ésta produzca de la forma más económica, porque esto redundará en favor de la comunidad.

El fracaso de estas Plantas se traducirá en que los políticos promotores posiblemente pierdan votos de sus electores en las siguientes elecciones.

Como cuestión de fondo en ambos casos de iniciativa pública o privada, la Planta Industrial debe ser rentable económicamente o rentable socialmente. Lo primero es medible y lo segundo resulta más difícil de evaluar, porque intervienen más elementos subjetivos de difícil cuantificación.

Como conclusión, llegamos a que en los dos supuestos contemplados, debemos realizar los pertinentes estudios que nos indiquen con más o menos incertidumbres la Viabilidad de la Planta. Naturalmente desearíamos siempre las menores incertidumbres, aunque esto se verá que no siempre es posible.

Como ejemplo de lo anterior (de iniciativa pública), tenemos las Plantas de refino, químicas y petroquímicas, astilleros, etc. que promovió el Instituto Nacional de Industria en España. Recordemos la Refinería de Puertollano que se hizo para tener carburantes, aprovechando inicialmente pizarras bituminosas, porque en España no

había otra materia prima. Como ejemplos de iniciativa privada en España, tenemos las magníficas fábricas de cemento, astilleros, automóviles, etc., y que hoy en día resultan ejemplares a nivel mundial.

## **2.2. LA VIABILIDAD DE UNA PLANTA INDUSTRIAL**

Podemos decir que una Planta Industrial es viable cuando produce el producto o productos adecuados, en las cantidades que el mercado demanda en cada momento, a un precio que el mercado está dispuesto a pagar. Esto significa:

- Que el producto o productos fabricados son adecuados en cantidad y calidad (especificación) al mercado que sirven en cada momento de la vida de la Planta.
- Que los precios de venta de los productos fabricados son adecuados, también en cada momento, y el mercado es capaz de absorberlos.

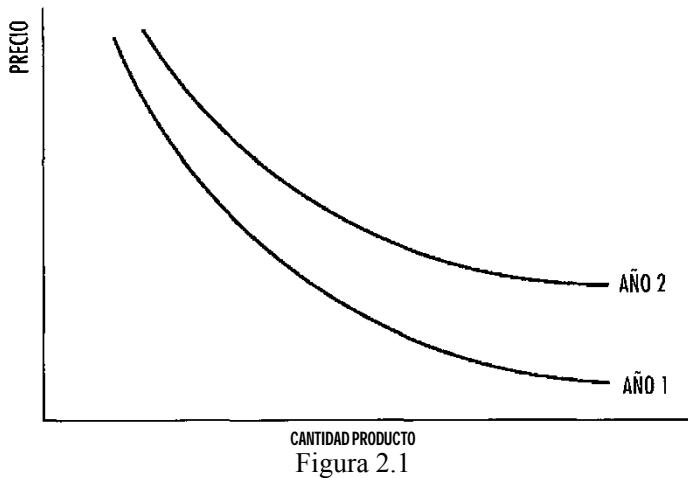
La cuestión que surge es cómo a partir de una idea (de producir tal producto en tales cantidades), normalmente de un empresario, podemos razonablemente confirmar que se cumplen las condiciones expuestas, aunque sea necesario modificar cantidades y/o calidades del producto. La respuesta es: realizando una serie de Estudios de Mercado y de Viabilidad que estén orientados a contestarnos. Normalmente y en el caso más general hay que realizar los siguientes estudios:

- a) de mercado
- b) de viabilidad técnica
- c) de viabilidad económica
- d) de viabilidad financiera

Vamos a analizar sus objetivos y contenidos.

### **2.2.1. Estudios de mercado**

Su objetivo es de carácter previsional y pretenden darnos a conocer para el producto que deseamos fabricar con una determinada especificación (calidad) en qué cantidades lo puede aceptar un determinado Mercado. Dicho de otra forma, contesta, por supuesto previsionalmente, cuánto podemos vender de este producto, con esta calidad a este precio. Al final se puede llegar a establecer una curva que defina para este producto, de esta calidad, cuánto puedo vender a estos precios ahora y en el futuro y en este Mercado. Puede también establecer una previsión de la vida del producto.



Puede tener mucha importancia el mercado en que deseamos vender, puesto que los costes de transportes e incluso distribución (desde el lugar de fabricación) pueden ser proporcionalmente muy altos en relación con el coste de fabricación. Esto no sucede en productos de alto valor añadido y sí sucede en productos de poco valor añadido como el cemento o el yeso.

Los Estudios de mercado son realizados por equipos multidisciplinares, compuestos por expertos en mercadotecnia, economistas, a veces psicólogos, etc.

Realmente, nos proporcionan parte de los principales datos del problema que los ingenieros necesitamos para diseñar una Planta Industrial

- ¿Qué producto?
- ¿En qué cantidades?
- ¿A qué precio lo podríamos vender?
- ¿Relación cantidad/precio de venta?

Está claro que los resultados tienen siempre un componente de incertidumbre que es necesario considerar y son tanto más inciertos, según avanza la globalización y la apertura de los mercados.

### **2.2.2. Estudios de viabilidad técnica**

El objetivo principal de estos estudios es determinar si hay TECNOLOGÍA (quiere decir si hay algún conjunto de teorías y de técnicas que permiten el aprovechamiento práctico del conocimiento científico) para realizar la Planta Industrial, cuya producción deseamos, y si es posible adquirir esta TECNOLOGÍA en el mercado a un determinado precio, en el caso de que no la tuviera el promotor de la Planta Industrial en cuestión.

Las preguntas clave que nos debemos hacer son:

- ¿Hay tecnologías para hacer este producto?
- ¿Están disponibles? y ¿quién las tiene?
- ¿Cuál es su precio?

A través de las respuestas podemos hacer el estudio de viabilidad de la Planta Industrial en cuestión.

A la primera pregunta, de si hay tecnología o tecnologías disponibles, podemos decir que en general habrá diferentes modos de fabricar un producto según:

- Las materias primas disponibles o que queramos utilizar
- Los procesos de fabricación
- La precisa especificación del producto final deseado.

El problema es cómo llegar a través de varias y normalmente diferentes transformaciones físicas, fisicoquímicas o químicas, o incluso combinación de las mismas, al producto acabado deseado. Dicho de otra forma, la tecnología que estamos buscando viene mayormente determinada por el Proceso de fabricación; es decir, por un conjunto de operaciones unitarias que tenemos que realizar en una secuencia determinada utilizando una o varias materias primas hasta llegar al producto final deseado. Como vemos, el dato del problema que tenemos planteado es el producto deseado, y las incógnitas son: el proceso de fabricación y las materias primas.

Tenemos que precisar que hay casos, especialmente para producir productos de poco valor añadido, para los cuales disponemos de unas materias primas, y tenemos que estudiar a qué productos finales llegamos con los procesos disponibles. En estos casos tenemos que ajustar los estudios de mercado a estos posibles productos.

Resulta frecuente que haya diferentes tecnologías para fabricar un producto deseado, incluso partiendo de las mismas materias primas. La selección de la tecnología más adecuada viene dada fundamentalmente por la capacidad de producción que deseamos, y por el coste de producción por unidad de producto.

A la segunda pregunta de si hay tecnología disponible y quién la tiene, hay que decir que el origen puede ser muy variado:

- Posee la tecnología una empresa de investigación que vende procesos (caso UOP, en procesos de refino).

- Tiene la tecnología un fabricante existente del producto que deseamos fabricar (caso frecuente en la industria petroquímica).
- Tiene la tecnología un fabricante de bienes de equipo o de sistemas (unidades paquete), por ejemplo, un fabricante de unidades de desalación de agua o un fabricante de equipos de un matadero general frigorífico.
- También puede tener la tecnología la propia empresa promotora en cuyo caso debe considerar la obsolescencia de lo que tiene.

Analizando lo anterior resulta lo siguiente:

Existen empresas cuyo objetivo es la venta de tecnologías y/o procesos o incluso Know-How (saber-hacer) especialmente en el sector químico, petroquímico y de refino de petróleo. Estas empresas venden los procesos de fabricación junto con los necesarios asesoramientos técnicos, que le garanticen al comprador de la tecnología que la Planta se va a implementar adecuadamente. Juegan un papel importante en la puesta en marcha de las plantas, siempre garantizando el buen funcionamiento de las mismas por su propio interés. (Y porque contractualmente suelen estar obligadas.)

También, como indicábamos, hay empresas cuyo objetivo es fabricar un producto y que pueden incluso vender su tecnología de cómo fabricar dicho producto, normalmente en un área restringida que no les afecte a su mercado. Normalmente estas empresas venden su tecnología en forma de Know-How, es decir, en forma de «saber hacer» de acuerdo con su experiencia.

En otros casos, la tecnología está en manos de fabricantes de bienes de equipo o de sistemas (unidades paquete), los cuales venden los bienes de equipo vinculados a la propia tecnología para garantizar el buen resultado final. Hay muchos ejemplos en la industria siderúrgica y papelera.

Por ultimo, la tecnología puede estar en manos del propio promotor, especialmente en proyectos poco complejos. Por ejemplo, un almacén logístico en el caso de una cadena de Hipermercados. Como decíamos, hay que estudiar la posible obsolescencia de las soluciones en estos casos, ya que no suele haber un gran interés por parte del promotor en mantener una tecnología puntera porque no es su negocio directo.

A la última pregunta de cuál es el precio de la tecnología, las posibilidades habituales son las siguientes:

Las empresas que venden tecnología (proceso + asistencia técnica) suelen establecer un precio fijo por la venta del proceso y un precio horario por la venta de la asistencia

técnica, con un mínimo de horas para garantizar su participación, y que las cosas se hagan bien. También, aunque es menos frecuente, pueden establecer un Royalty cobrando una cantidad por unidad de producto producida.

Las empresas fabricantes que venden tecnología relativa a los productos que fabrican suelen establecer el precio de la tecnología que venden en forma de Royalty, cobrando por unidad de producto producido. También en algunos casos se puede establecer una cantidad fija más una asistencia técnica facturable por horas.

Las empresas fabricantes de bienes de equipo o sistemas (unidades paquete) no suelen vender tecnología aisladamente, sino que lo hacen vendiendo su tecnología vinculada e inseparable de los equipos que fabrican o subcontratan. Ejemplos de esto tenemos en la industria cementera, en la siderurgia y en la fabricación de papel, incluso en algunos casos en la industria de fertilizantes (Urea).

En el caso de que la tecnología la tenga el propio promotor, el coste lo debe evaluar en función de lo que le cuesta su departamento de investigación o tecnológico.

Cuando realicemos un estudio de viabilidad técnico es muy frecuente que nos encontremos con diferentes alternativas. Sin duda, el principal criterio para elegir será aquella tecnología que nos proporcione el menor coste del producto durante la vida que estimemos para la Planta Industrial en cuestión. Otro aspecto muy importante a considerar, según los diferentes procesos de la viabilidad de la adquisición de los bienes de equipo o unidades paquete que realicen las operaciones unitarias del proceso. Puede haber limitaciones en cuanto a capacidades de equipos, o sistemas, o en cuanto a plazos de entrega.

Podemos seguir el siguiente esquema para seleccionar el proceso más adecuado:

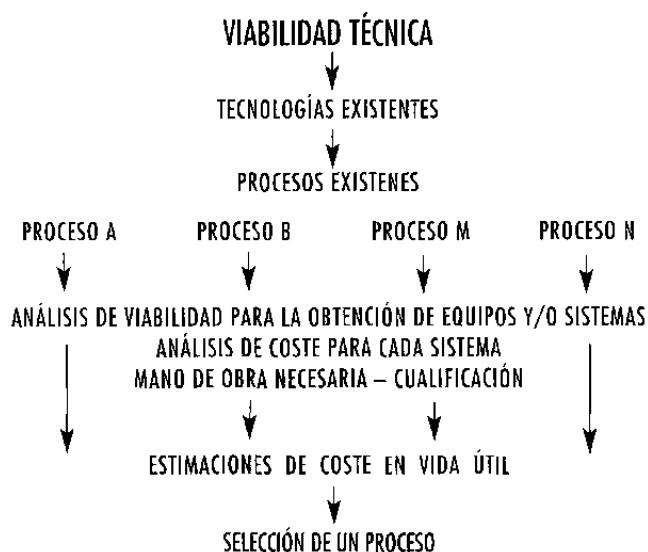


Figura 2.2

La selección de procesos se suele hacer a través de un análisis multivariable, utilizando algún método de ponderación de las variables.

La conclusión de este estudio de viabilidad técnica es que para realizar la fabricación de este producto y en estas cantidades, podemos utilizar este proceso, tecnológicamente válido y además porque el equipamiento y/o sistemas necesarios para realizar las operaciones unitarias están disponibles en los plazos adecuados y a precios razonables.

En este estudio, normalmente, será necesario realizar una estimación de la inversión, como elemento para poder determinar el proceso más adecuado. En esta fase el nivel de precisión de la estimación de la inversión deberá estar en  $\pm 20\%$ , lo cual se puede conseguir bien utilizando si es posible una planta de referencia (cuyos datos de inversión podamos extrapolar) o bien realizando una Preingeniería con la cual al menos podemos evaluar el precio de mercado de los equipos y/o sistemas más críticos del proceso y de los servicios auxiliares. En esta cuestión de evaluar una inversión, hay que tener en cuenta la situación del mercado de los proveedores, ya que puede ocurrir, según la demanda de los promotores, que los precios crezcan con tasas superiores al 40% de un año para otro, como sucedió en el bienio 2007/2008.

### **2.2.3. Estudios de viabilidad económica**

El punto de partida de un estudio de viabilidad económica será la estimación de la inversión, que podrá tener en esta fase una aproximación de  $\pm 20\%$ , salvo que haya alguna planta de referencia de capacidad similar a la que nos ocupa, y que nos sea posible obtener la información precisa.

El objetivo es determinar para la planta en cuestión, cuál es la rentabilidad que previsiblemente podemos obtener del dinero que invertimos en la citada planta. También tenemos que estudiar lo que sucedería si este dinero lo invertimos en otro posible negocio que pudiera ser más rentable (alternativas de inversión).

Naturalmente que estos estudios tienen incertidumbre porque las variables y parámetros que intervienen pueden variar a lo largo del tiempo, lo que hace necesario el realizar, a la vez que los estudios de rentabilidad, estudios de sensibilidad de la variación de la rentabilidad en función de los parámetros más importantes, tales como:

- Variaciones del coste de las materias primas
- Variaciones del precio del producto acabado
- Variaciones del coste de la mano de obra

- Variaciones del precio de la energía
- Etc.

Para la realización de la viabilidad económica de una Planta Industrial, se considera necesario realizar los siguientes estudios/criterios de rentabilidad económica, todos ellos referidos a la planta en cuestión.

1. Cuenta de Explotación, resultado de los Ingresos en ventas anuales menos costes de explotación en materias primas, mano de obra, servicios, mantenimientos, impuestos, amortizaciones, etc., obteniéndose el Beneficio Antes de Impuestos (BAI) y Beneficio Despues de Impuestos (BDI).
2. Cálculo de Capital Circulante necesario para la operación anual del proyecto considerando entre otros: stocks (en materias primas, productos en fabricación y productos terminados) y en Cuentas a Clientes, Caja y Bancos y Proveedores.
3. Realización del Cálculo de Flujo de Caja, desde el año que se inicia la construcción hasta la finalización de la vida útil del proyecto.

Para la realización de los Flujos de Caja se asignarán en cada año los valores previstos de:

- (1) Inmovilizado desglosado en capital fijo y circulante.
- (2) Ingresos por ventas anuales.
- (3) Costes anuales de explotación, sin olvidar el coste de las amortizaciones.
- (4) Beneficio Antes de Impuestos (BAI) como resultado de las Ventas (2) - Costes (3).
- (5) Impuesto de Sociedades. Normalmente el 35% del BAI (4).
- (6) Beneficio Despues de Impuestos (BDI) = BAI (4) - Impuesto de Sociedades (5).
- (7) Flujo Generado (FG) como resultado del BDI (6) más las amortizaciones.
- (8) Flujo de Caja Operativo (FCO), como resultado del FG (7) menos las inversiones totales (1).
4. Cálculo de los FCO actualizado con la tasa de interés. Coste del dinero ( $r$ ).
5. Cálculo del VAN (Valor Actual Neto):

$$\text{VAN} = \sum \frac{\text{FCO}}{(1 + r)^n}$$

6. Cálculo del TIR (Tasa Interna de Retorno) correspondiente al valor de  $r$ , que hace que el VAN sea igual a cero y de la curva VAN / Tasa de Interés que nos indica el valor del VAN para cada Tasa de Interés.
7. Cálculo de TRB (Tasa de Rentabilidad Bruta) = BAI / Inversión, y cálculo de TRN (Tasa de Rentabilidad Neta) = BDI / Inversión.
8. PRC (Período de Recuperación de Capital) simple o con descuento utilizando los Flujos de Caja simples o actualizados.
9. RSI (Retorno Sobre Inversión) = 1 / PRC simple o actualizado.
10. Cálculo del punto de equilibrio o punto muerto que indica la producción mínima necesaria para cubrir los costes fijos.
11. Estudio de la sensibilidad del proyecto a los parámetros más importantes.

En el Anexo n.<sup>o</sup> 1 se expone con detalle un ejemplo de lo anterior.

#### **2.2.4. Estudios de viabilidad financiera**

Estos estudios también parten del conocimiento del valor que necesitamos invertir para poner la planta industrial en operación y lo que también necesitamos invertir para operar la planta.

El objetivo del estudio es conocer cuáles deben ser las fuentes de obtención de los fondos que necesitamos, tanto en fase de inversión como en fase de operación.

Naturalmente también un objetivo será determinar cuál será la vía de obtención que nos proporcione el menor coste del dinero necesario.

En general podemos decir que un promotor de una planta industrial debe emplear una parte de sus fondos propios para financiar la inversión. La buena práctica aconseja que la inversión en fondos propios sea no menor del 30% de la inversión necesaria. Estos fondos propios en caso de no disponer de ellos, podría obtenerlos de una ampliación de su propio capital o de sus propias reservas. El resto de la inversión se puede financiar con capitales ajenos o incluso ahora es bastante frecuente complementar estos fondos con subvenciones procedentes de Instituciones locales, autonómicas y/o nacionales.

Los capitales ajenos, en líneas generales, podrán ser en forma de préstamos a un interés fijo o variable durante un periodo, o bien se pueden obtener en forma de obligaciones en el mercado a un tipo normalmente fijo.

En todo caso el estudio de viabilidad financiero debe contestar a las siguientes preguntas:

- ¿Hay fondos que cubran la inversión en la planta industrial y el capital circulante necesario para operar la planta?
- ¿Cuál es el origen de los fondos?
- ¿Cuál es su coste?

El coste de los fondos deberá incorporarse como un coste más de la Planta Industrial.

### **2.3. ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL**

Igual que los estudios anteriormente citados pueden ser determinantes, los estudios sobre el impacto ambiental que la planta cause en el medio ambiente, del entorno de la planta o el que presuntamente pueda causar, puede también hacer inviable la realización de la planta.

Desde un punto de vista técnico es posible conocer el impacto ambiental de una planta industrial, tanto en situaciones de funcionamiento normal como en situaciones extremas. La cuestión que se plantea es si se pueden eliminar los impactos o llevarlos a un nivel que sean tolerables a juicio de las autoridades ambientales competentes locales, provinciales, autonómicas o incluso nacionales, cuando la instalación industrial afecta a varias autonomías.

Puede ocurrir que haya un impacto ambiental tolerable o que no haya impacto.

Puede ocurrir que haya un impacto ambiental eliminable o eliminable parcialmente hasta límites admisibles con un coste soportable para la rentabilidad de la planta o también puede suceder que no se puedan eliminar los impactos o que se tenga un coste muy alto de eliminación en cuyo caso la Planta industrial puede resultar inviable desde el punto de vista ecológico y/o económico.

El problema es muy complejo y está regulado por una legislación nacional o autonómica a veces no fácil de comprender.

## **2.4. CONCLUSIONES**

En el caso más general de un promotor de una Planta Industrial es necesario realizar los estudios indicados. También sucede a nivel de Grupos empresariales que, por la propia actividad tienen actualizados los datos que se necesitan para tomar una decisión de invertir o no.

En todo caso se requiere hacer un análisis conjunto de los estudios anteriores para llegar a las conclusiones indicadas a continuación.

Las conclusiones más importantes que se deben obtener de los estudios indicados son las siguientes:

- a) Producto y/o productos a fabricar (especificaciones) y cantidades de producto a fabricar.
- b) Viabilidad técnica de fabricar el producto porque hay tecnología para hacerlo (disponemos de uno o varios procesos) y sabemos cuánto cuesta adquirirlos. Así podemos realizar un primer predimensionado de la Planta.
- c) La rentabilidad de la planta en diferentes supuestos.
- d) Conocer la disponibilidad de los fondos necesarios para realizar la inversión.
- e) Conocer que desde el punto de vista ecológico la planta es viable y además rentable, después de introducir las mejoras correctoras de los impactos.

También sabemos las incertidumbres que pueden tener cada uno de los puntos anteriores, lo que nos permite tomar una decisión de seguir adelante o suspender la inversión habiendo realizado muy poco gasto.

## **PREGUNTAS DE AUTOEVALUACIÓN**

### **Tema segundo**

1. Una planta industrial es un medio para producir. ¿Puede ser algo más?
2. Explicar las diferencias entre rentabilidad económica y rentabilidad social. ¿Puede una nueva Planta ser rentable económicamente y socialmente a la vez?
3. ¿Cómo se puede poner en evidencia que una planta industrial es rentable socialmente en el supuesto que haya sido promovida por las autoridades autonómicas?
4. Indicar supuestos en los que considere correcto que una autoridad local, provincial o autonómica promueva una planta industrial. Aplicar a un astillero o a una planta petroquímica.
5. Explicar si sería correcto que la capacidad de producción de una planta industrial variase, en más o en menos, para adaptarse a un mercado cambiante. Qué previsiones tendría que haber hecho cuando se diseñó la planta.
6. ¿Le parecería adecuado asignar pesos por su importancia al Estudio de Mercado y a los Estudios de Viabilidad de una planta industrial? ¿En qué supuestos podría hacer esto? ¿Esta asignación de pesos le podría condicionar el hacer o no la planta?
7. ¿Por qué un Estudio de Mercado debe ser hecho por un equipo multidisciplinar?
8. Cómo representaríamos con una gráfica la relación coste de un producto en función de la cantidad producida utilizando dos o tres procesos diferentes? Indicar un ejemplo.
9. El coste de un producto se compone sumando los costes fijos a los costes variables (que dependen de la cantidad del producto que fabricamos en una determinada planta). Conociendo esto ¿cómo determinaríamos la producción mínima de la planta que queremos construir para diferentes precios de venta? Indicar gráficamente lo anterior.
10. ¿Puede el coste de una tecnología condicionar su utilización? ¿Qué alternativas tendríamos si resulta demasiado alto este coste?
11. ¿En qué supuestos Vd. compraría la tecnología a un fabricante de equipos y/o sistemas?
12. ¿Qué precauciones se deberán tomar si compra la tecnología a un fabricante de productos?
13. Indicar a través de un ejemplo cómo seleccionaría una tecnología utilizando un análisis multivariante.
14. Comentar el hecho de movernos con precisiones de más o menos el 20% en estimaciones de la inversión. Cómo se puede mejorar esto y en qué nos puede afectar.

15. ¿Cómo puede influir en la rentabilidad de una planta industrial un error en la cifra estimada como inversión? Indicar un ejemplo.
16. Comentar cuántos años le parecen razonables para recuperar la inversión realizada en una planta industrial. Indicar ejemplos en diferentes supuestos.
17. ¿Cómo se relacionan el T.I.R. y la tasa de interés de mercado en un momento determinado cuando estamos estudiando la conveniencia de invertir en una planta industrial?
18. ¿Qué valoración debe dar a los análisis de sensibilidad en el Estudio de Viabilidad de una Planta Industrial?
19. Indicar casos de Plantas o Instalaciones Industriales en los cuales los problemas ambientales hayan impedido su construcción.
20. Comentar la frase: «Siempre es posible suprimir el impacto ambiental de una planta industrial aumentando la inversión».

## Tema 3

### Etapas para el desarrollo de una Planta Industrial.

#### Objetivos de cada etapa

#### **Presentación**

Este tema 3 se refiere a todo aquello que tenemos que hacer para diseñar, comprar, construir y poner en marcha una Planta Industrial. Describe las diferentes etapas o actividades a realizar hasta la recepción definitiva de la Planta Industrial por parte del inversor.

#### **Objetivos**

- Mostrar cuáles son las actividades o etapas a realizar de una manera secuencial para llegar a la puesta en marcha de una Planta Industrial a partir de una idea empresarial privada o pública.
- Explicar la razón de ser de cada etapa o actividad, así como los objetivos parciales que se pretenden de un modo secuencial.
- Distinguir las dos grandes fases de estudios y realizaciones con el fin de minimizar riesgos y conseguir la máxima economía ante cualquier situación de cambio del entorno en que se desarrollan las actividades.
- Presentar un plan de trabajo distribuido en el tiempo que muestre los habituales solapes entre las diversas actividades.

### **3.1. GENERALIDADES**

Se trata de describir las etapas en que normalmente se desarrolla una Planta Industrial, el contenido básico de cada una y los objetivos que se persiguen en cada etapa.

Una Planta Industrial se desarrolla realizando una serie de etapas que podemos clasificar como:

- Etapas en fase de Estudios.
- Etapas en fase de Realización de la Planta Industrial.

Las primeras conllevan exclusivamente trabajos de ingeniería, de tal manera que la inversión necesaria para realizarlas es pequeña (entre el 1% y el 5% de la inversión). Si el resultado no es positivo, podemos renunciar a seguir adelante con poco gasto.

Las segundas ya comportan gastos muy importantes, tales como terrenos, ingeniería, equipos y obras civiles, que si no las llevamos hasta el final, por la suspensión o anulación de la ejecución de la planta, darán lugar a unos pagos importantes, dependiendo del grado de compromiso a que hayamos llegado en el momento de la suspensión o anulación con los diferentes proveedores y contratistas.

### **3.2. LAS ETAPAS PARA LA REALIZACIÓN DE UNA PLANTA INDUSTRIAL**

El punto de partida, como veíamos antes, son los Estudios de Mercado, los Estudios de Viabilidad Técnica, Económica, Financiera y los Estudios Ecológicos (Estudios de Impacto Ambiental).

A partir de estos estudios y como conclusión de los mismos, conocemos qué producto queremos fabricar y en qué cantidades, así como la viabilidad desde el punto de vista ecológico de la planta en un determinado emplazamiento. Ocurre que la viabilidad económica está sujeta a incertidumbres importantes porque cuando se determinó la inversión necesaria disponíamos normalmente de información preliminar. Esto es por lo que en esta etapa de estudios previos, debemos realizar una confirmación de la evaluación y mejor aproximación de los datos manejados anteriormente. Así pues debemos, en esta etapa de estudios previos, cubrir los siguientes aspectos:

- Confirmación de la tecnología a usar.
- Desarrollo de la tecnología a nivel preliminar (Preingeniería).
- Obtener nueva evaluación de la inversión, con mayor información y precisión.
- Elección de los terrenos necesarios para la planta y estudio de los mismos.
- Revisión de los Estudios de Viabilidad.

- Toma de decisión de realizar la Planta.

Realizada esta etapa de Estudios previos, que en caso de plantas pequeñas y poco complejas probablemente se puedan obviar o reducir en contenidos, debemos pasar a la etapa de realización propiamente dicha, que constará de lo siguiente:

- Obtención de la tecnología.
- Realización de la Ingeniería Básica o Anteproyecto.
- Preparación de la documentación para la tramitación y obtención de los permisos necesarios.
- Realización de la Ingeniería de detalle o Proyecto Constructivo.
- Realización de las compras de equipos y/o sistemas y contrataciones de obras civiles y montajes.
- Construcción de la Planta Industrial.
- Puesta en servicio de la Planta Industrial. Recepción provisional.
- Recepción definitiva.

### **3.3. OBJETIVOS DE CADA ETAPA EN FASE DE ESTUDIOS DE UNA PLANTA INDUSTRIAL**

#### **3.3.1. Confirmación de la tecnología a usar**

Una vez definida la tecnología que vamos a utilizar, debemos pedir al proveedor una información preliminar más detallada, con el único objetivo de confirmar su viabilidad (especialmente disponibilidad de equipos principales en plazo y coste aproximado de los mismos). Aquí podemos saber qué operaciones unitarias tenemos que realizar y la importancia de las mismas.

#### **3.3.2. Desarrollo de la tecnología a nivel preliminar. Preingeniería**

Con la información del punto anterior, podemos desarrollar una Ingeniería Preliminar o Preingeniería, que nos permita determinar, también preliminarmente, los servicios auxiliares que necesitará el Equipo de proceso, servicios generales y puestos de trabajo, así como los servicios de personal. También se hará una estimación de las edificaciones necesarias. El objetivo es poder volver a evaluar la inversión con mayor precisión.

### **3.3.3. Obtención de una nueva evaluación económica de la inversión**

Con esta mayor información será conveniente pedir a los fabricantes de los equipos principales una estimación del coste, así como establecer contacto con contratistas para evaluar obras civiles y montajes. Si pretendemos utilizar un solo contratista general (responsable único), el estado de los conocimientos del inversor motivará al contratista a realizar el esfuerzo que le requiera para la evaluación.

Como objetivo de esta etapa sería tener aproximaciones del valor de la planta entre el 5% y el 10%, lo cual sería un buen resultado.

### **3.3.4. Elección de terrenos**

Se refiere este apartado a la elección del emplazamiento dentro de los posibles de un área sobre los cuales habíamos realizado los estudios medioambientales que habían dado un resultado positivo. De otro modo no tendría sentido seguir.

La primera consideración a tener en cuenta es si debemos instalar la industria en un polígono o parque industrial o en un terreno que no tenga esta calificación. La respuesta, como veremos más adelante, viene marcada por el tamaño y complejidad de la industria en cuestión. Podemos indicar a título orientativo que si la industria necesita más de 10.000 metros cuadrados no sería sensato ubicarla en un polígono, porque los gastos de la propia urbanización y acometidas sería normalmente inferior al coste que podría ofrecer un polígono industrial. Lo que hemos indicado es cierto en términos generales, lo cual no quiere decir que por otras razones ajena a las indicadas no sea mejor la instalación en un polígono industrial. Además de lo anterior, debemos prestar atención a otras consideraciones a la hora de elegir un emplazamiento concreto, tal como:

- Topografía del terreno.
- Capacidad portante a efectos del diseño de estructuras y cimentaciones.
- Accesos (carretera, ferrocarril, etc.).
- Acometidas (electricidad, gas, agua, saneamiento, etc.).
- Ordenanzas de aplicación (alineaciones, retranqueos, superficie utilizable, volumen utilizable, alturas máximas permitidas, etc.).
- Aspectos medioambientales (viento, pluviometría, cota de inundaciones, sismicidad, etc.).

Además de lo anterior, y sobre todo en industrias de un tamaño grande, ahora resulta muy importante estudiar el grado de aceptación que los habitantes del área tienen de la industria que se va a instalar. Este factor es tanto más importante cuanto más sofisticada sea la industria a instalar, y la experiencia nos indica que ha sido un factor excluyente en bastantes ocasiones.

### **3.3.5. Revisión de los estudios de viabilidad**

Con la información obtenida anteriormente, se deben actualizar los estudios de viabilidad económica y los estudios de sensibilidad de la rentabilidad ante la variación de los parámetros principales (coste de materias primas, precio venta del producto o productos acabados, coste de la energía, coste de la mano de obra, precio del dinero, etc.).

### **3.3.6. Toma de decisión de realizar la Planta Industrial**

Hemos llegado hasta aquí con la información no exenta de incertidumbre, que razonablemente nos permitirá tomar la decisión de seguir adelante o suspender temporalmente o cancelar el proyecto de la Planta Industrial.

Podemos sintetizar estas etapas en el siguiente esquema:

CONFIRMACIÓN DE LA TECNOLOGÍA A USAR  
DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA A NIVEL PRELIMINAR  
PREINGENIERÍA  
NUEVA EVALUACIÓN DE LA INVERSIÓN  
ELECCIÓN DE TERRENOS  
REVISIÓN DE LOS ESTUDIOS DE VIABILIDAD  
TOMA DE DECISIÓN DE REALIZAR LA PLANTA

## **3.4. Desarrollo de las etapas para la realización de una Planta Industrial**

A continuación se exponen las principales actividades a realizar en cada etapa; con la consideración de que a partir de aquí se incurre en gastos muy importantes.

### **3.4.1. Obtención de la tecnología de la Planta**

Esta etapa ha venido precedida por múltiples contactos con el proveedor de tecnología (tecnólogo puro, fabricante del producto, vendedor de bienes de equipo o sistemas o incluso el propio inversor) y se trata de formalizar una adjudicación y la compra posterior, fijando los alcances del trabajo, de tal manera que el comprador pueda, con la ayuda (variable en cada caso) del vendedor, garantizarse una eficaz

puesta en marcha de la planta, garantizándose también el cumplimiento de los parámetros a los que el tecnólogo está comprometido. Normalmente la compra de tecnología tiene el siguiente alcance:

- Diagrama de Proceso (con las operaciones unitarias).
- Balance de masas y energía que expresa lo que entra y sale de cada operación unitaria y en el conjunto de operaciones, así como la energía que se genera o que hay que aportar.
- Especificación de los Equipos o Sistemas que realizan cada operación unitaria. En caso de plantas químicas cuando el asunto es complejo se incluye los principales datos de diseño mecánico del equipo, para que una ingeniería o terceros puedan acabar el diseño de los mismos y otros puedan construirlo.
- Arquitectura de control para la operación de la planta.
- Especificación de instrumentos.

Todo lo anterior está normalmente establecido para los equipos de Proceso. Es muy conveniente que el suministrador de la tecnología proporcione información sobre ejemplos de implantaciones de plantas de referencia que pueden servir de guía para la planta que estamos diseñando.

No debemos olvidar que el vendedor de la tecnología y el inversor tienen intereses comunes de que todo salga bien, por lo que la colaboración debe ser muy estrecha.

### **3.4.2. Realización de la Ingeniería Básica o Anteproyecto**

La Ingeniería Básica o Anteproyecto (llamado así en caso plantas de menor entidad) lo que pretende es, a partir del proceso de fabricación, determinar los servicios auxiliares, servicios generales y servicios de personal necesarios para el funcionamiento de la Planta Industrial, es decir, todas aquellas instalaciones y dependencias que la Planta necesita para funcionar. A continuación listamos lo indicado anteriormente:

- Servicios auxiliares. Son aquellos que los equipos de proceso necesitan para poder funcionar, tales como agua, vapor, energía eléctrica, aire comprimido, etc.
- Servicios generales. Son aquellos necesarios para que la fabricación se lleve a cabo con normalidad, tales como almacenes de materia prima, de productos intermedios, de producto acabado, talleres de mantenimiento, oficinas, etc.

— Servicios de personal. Son aquellos que el personal empleado en la factoría necesita para su uso diario de acuerdo con la organización productiva de la factoría, tales como: aseos, vestuarios, comedores, salas de ocio, salas de formación, servicios médicos, etc.

La Ingeniería Básica debe además considerar los transportes internos de la factoría (tuberías, cintas, puentes grúa, etc.) y sus conexiones con el exterior, así como los aparcamientos internos dentro del recinto de la planta, tanto para turismos como para camiones.

La Ingeniería Básica tiene como objetivo el justificar todas las soluciones que se adopten en todos los órdenes. Esta justificación debe ser técnica y económica a la vez, lo cual conlleva que deba ser realizada por los técnicos que tengan la mayor experiencia en el tipo de Plantas que estemos considerando.

Dentro de la Ingeniería Básica o Anteproyecto de una Planta Industrial, hay una actividad transcendental que es la implantación de todos los equipos, sistemas, dependencias, transportes interiores y exteriores de la planta. Esta implantación significa la ordenación en el espacio de todos los elementos que constituyen la Planta Industrial. Esta Implantación realmente es d objeto de la Arquitectura Industrial.

En esta etapa de la Ingeniería Básica, y dado que tenemos definida la Implantación, podemos, ahora de acuerdo con las necesidades de los equipos y sistemas de fabricación, así como de las personas que ocupan los puestos de trabajo, definir sobre la implantación que áreas deben estar cubiertas por edificios y cuales no. Asimismo, podemos establecer un dimensionamiento preliminar de estas edificaciones donde sean necesarias.

Definido el tamaño de las edificaciones (aproximado), la Ingeniería Básica, tiene que definir y justificar los sistemas constructivos tales como: sistemas de cimentación, sistemas estructurales, cerramientos, cubiertas, pavimentos, etc., para las distintas edificaciones que tenga la planta en cuestión. Una vez definidas las edificaciones hay que determinar la implantación de conjunto general de la planta industrial, también conocido como Lay-out general.

Una ingeniería básica debe además realizarse considerando la legislación aplicable en el sitio de la ubicación de la planta y además debe de comprobarse la no incompatibilidad con las soluciones adoptadas. Este análisis debe realizarse en todos los casos prestando atención a los vertidos sólidos, líquidos y gaseosos que nos deberán

venir dados en el proceso y en los servicios auxiliares, así como en los servicios generales cuando existen almacenamientos importantes en tanques.

### **3.4.3. Preparación de documentación, tramitación y obtención de permisos**

Es la etapa que debe hacerse a la vez o inmediatamente después de la Ingeniería Básica, y su objetivo fundamental es la preparación de la documentación necesaria para la tramitación y posterior obtención de los permisos que sean necesarios en cada caso y que las autoridades deben conceder para la realización y puesta en operación de la planta industrial. Destacan como documentos más importantes los necesarios para la concesión de la licencia de actividad y los necesarios para conseguir la licencia de construcción de la planta. Estos documentos indicados son emitidos por las autoridades municipales. Hay que considerar en cada caso, cuáles son los requisitos de detalle que requiere cada municipio.

También en relación con las instalaciones de la planta, es necesario preparar documentos que muestren las diferentes soluciones adoptadas para comprobar que cumplen los reglamentos en vigor.

El tema es complejo y se debe de investigar, caso por caso, cuál es la documentación necesaria a presentar y la forma en que debe presentarse a las diferentes autoridades: municipales, autonómicas o incluso nacionales, en el supuesto de que haya más de una autonomía competente.

A veces resultan de especial importancia los Estudios de Impacto Ambiental, que normalmente deberían haber sido preparados con anterioridad a la realización de la ingeniería básica y que podrían ser decisivos a la hora de construir o no la Planta Industrial, como ya hemos indicado anteriormente. Conviene la participación de personal local cualificado para la realizar estas tareas.

### **3.4.4. Realización de la Ingeniería de Detalle o Proyecto constructivo**

El objetivo de la Ingeniería de Detalle o Proyecto Constructivo es realizar una serie de documentos que constituyan un sistema de comunicación entre todas las partes que intervienen en el diseño y en la construcción y puesta en marcha de la planta. Ordenados y distribuidos convenientemente, hacen que todas las partes que intervienen, de acuerdo con los contratos suscritos, sepan lo que tienen que hacer.

Esta ingeniería de detalle o proyecto constructivo debe comenzarse cuando tengamos la razonable seguridad (dificilmente podremos estar cien por cien seguros) de que en su momento vamos a tener todos los permisos de las autoridades competentes.

La documentación a realizar en esta fase puede ser muy variable en función del tamaño y complejidad de la planta industrial. Aquí indicamos que en términos globales nos podemos encontrar con dos grandes tipos de proyectos de Plantas industriales sobre la base de la utilización o no de equipo estándar:

- Proyectos de pequeño/mediano tamaño y pequeña complejidad.
- Proyectos pequeño/mediano/gran tamaño y mediana/gran complejidad.

Los primeros son aquellos en los cuales podemos hacer un diseño completo (elaboración de los documentos de la ingeniería de desarrollo o proyecto constructivo), valiéndonos de información publicada o proporcionada expresamente por los suministradores de equipos o sistemas, toda ella dentro del dominio público (catálogos de fabricantes, etc.). Por ejemplo podríamos elaborar ingeniería de detalle completa de una nave industrial cuyo uso sea un almacén, aunque incluya una instalación contra incendios y una instalación eléctrica de alumbrado y fuerza. Incluso se podría realizar la ingeniería de detalle si incluyera una instalación de aire acondicionado o una instalación frigorífica. Esto normalmente siempre sería posible si estuviéramos proyectando una obra civil, tal como una carretera o un puente.

Sin embargo, en las Plantas Industriales que incluyan un proceso de fabricación, no siempre es posible obtener datos de los equipos de fabricación o de los equipos de los servicios auxiliares, bien porque no existen o bien porque hay que comprarlos antes para obtener sus características.

En el caso simple de una planta frigorífica, en general, siempre será posible combinar compresores, condensadores, evaporadores y válvulas para realizar la instalación que deseamos, porque todos estos componentes estarán en uno o varios catálogos de fabricantes. Igual sucede con una instalación de aire acondicionado de algún gran edificio.

El segundo caso, mencionado anteriormente, es el habitual, es decir, que para hacer el Proyecto constructivo necesitamos al menos comprar antes los equipos y sistemas principales de proceso y a veces los equipos principales de los servicios auxiliares, tales como calderas, bombas, etc. Por ejemplo, no se concibe hacer una cimentación de un compresor, sin saber qué compresor es. No se concibe, tampoco, realizar el proyecto de

detalle de las tuberías de una sala de calderas sin saber qué calderas y bombas son, además de otros elementos.

Lo anterior implica que a la vez que se realiza la ingeniería de detalle o desarrollo hay que ir realizando las compras de los equipos y/o sistemas (unidades paquete) para obtener la información necesaria, para seguir preparando la documentación definitiva.

Más adelante profundizaremos en estos aspectos.

### **3.4.5. Realización de las compras de equipos y/o sistemas. Contratación de Obras Civiles y Montajes**

Independientemente del sistema global que se adopte, y de la desagregación que se haga de la planta a efectos de comprar y montar todos sus componentes, es evidente que la Ingeniería básica y de desarrollo debe proporcionar la documentación técnica necesaria para comprar y contratar. A partir de esta información, los objetivos de una gestión de compras y contrataciones consisten en preparar una serie de documentos que nos permitan comprar, indicando las condiciones de cada compra o contratación. Además estas funciones indicadas, deben complementarse con otras de inspección, y activación, hasta la confirmación de la entrega correcta de los equipos y sistemas en campo.

En esta etapa de Compras hay un doble objetivo, especialmente en lo que se refiere a la compra de equipos y sistemas.

- Conseguir la información para poder seguir desarrollando la ingeniería de detalle.
- Conseguir que los equipos y/o sistemas lleguen al sitio de construcción de la planta industrial para su posterior montaje y funcionamiento.

Debemos resaltar la importancia de la obtención de información sin la cual no podríamos realizar la documentación necesaria para construir. El que esta información emitida por los proveedores esté a tiempo tiene una gran importancia para poder cumplir los plazos de puesta en marcha de la planta (normalmente se vinculan pagos a proveedores con entrega de documentación por parte de los mismos).

La contratación de las obras civiles y montajes se hará según el grado de desagregación que hayamos adoptado. Normalmente se harán las siguientes contrataciones más conocidas en la práctica como subcontratos.

- Contrato/s de Obras Civiles (desglosado o completo)
- Contrato de Montaje Mecánico (uno o varios contratos)

- Contrato de Montaje Eléctrico
- Contrato de Montaje de Instrumentos

Además de por razones funcionales, adquieren en estos casos una gran importancia las razones económicas y de control de la situación en cada momento.

#### **3.4.6. Construcción de la Planta Industrial**

El objetivo de la más importante de las etapas es la realización de las obras civiles y edificaciones, así como el montaje de los equipos de fabricación y el montaje de todos los equipos auxiliares, realizando los contratos mencionados anteriormente.

#### **3.4.7. Puesta en servicio de la Planta Industrial**

El final de la construcción y el montaje de la planta lo constituye la Terminación Mecánica. A partir de la Terminación Mecánica se puede iniciar la puesta en servicio de la planta industrial.

El objetivo principal de esta etapa es, precisamente, poner en servicio la planta, para lo cual es necesario realizar un programa que debe contener todas las actividades a realizar y su secuencia en el tiempo desde la terminación mecánica.

Este programa debe contener al menos lo siguiente:

- Definición de los recursos materiales y humanos cualificados para la puesta en marcha (aquí puede jugar un papel importante el suministrador del proceso).
- Manual de operación de la planta.
- Personal de operación de la planta.
- Manual de mantenimiento de la planta.
- Personal de mantenimiento.
- Laboratorios.
- Operaciones preliminares.
- Pruebas.
- Puestas en marcha parcial y total.

Al final, satisfechos todos los requisitos, se realiza el acta de recepción provisional de la Planta. En la Terminación Mecánica o en el momento de la firma del Acta de Recepción Provisional se puede realizar la transferencia de propiedad de los proveedores y contratistas a la Propiedad o Inversor, dependiendo esto de los tipos de contrato suscritos.

### **3.4.8. Recepción definitiva**

El objetivo es comprobar que en el transcurso de un periodo determinado (entre uno y dos años), a contar a partir de la recepción provisional, qué defectos se han puesto de manifiesto en el funcionamiento de la planta. En este periodo se realizan las oportunas modificaciones y/o reparaciones y posteriormente se hace la recepción definitiva.

Podemos sintetizar estas etapas en el siguiente esquema:

OBTENCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE LA PLANTA.

REALIZACIÓN DE LA INGENIERÍA BÁSICA O ANTEPROYECTO.

PREPARACIÓN DE DOCUMENTACIÓN, TRAMITACIÓN Y OBTENCIÓN DE PERMISOS.

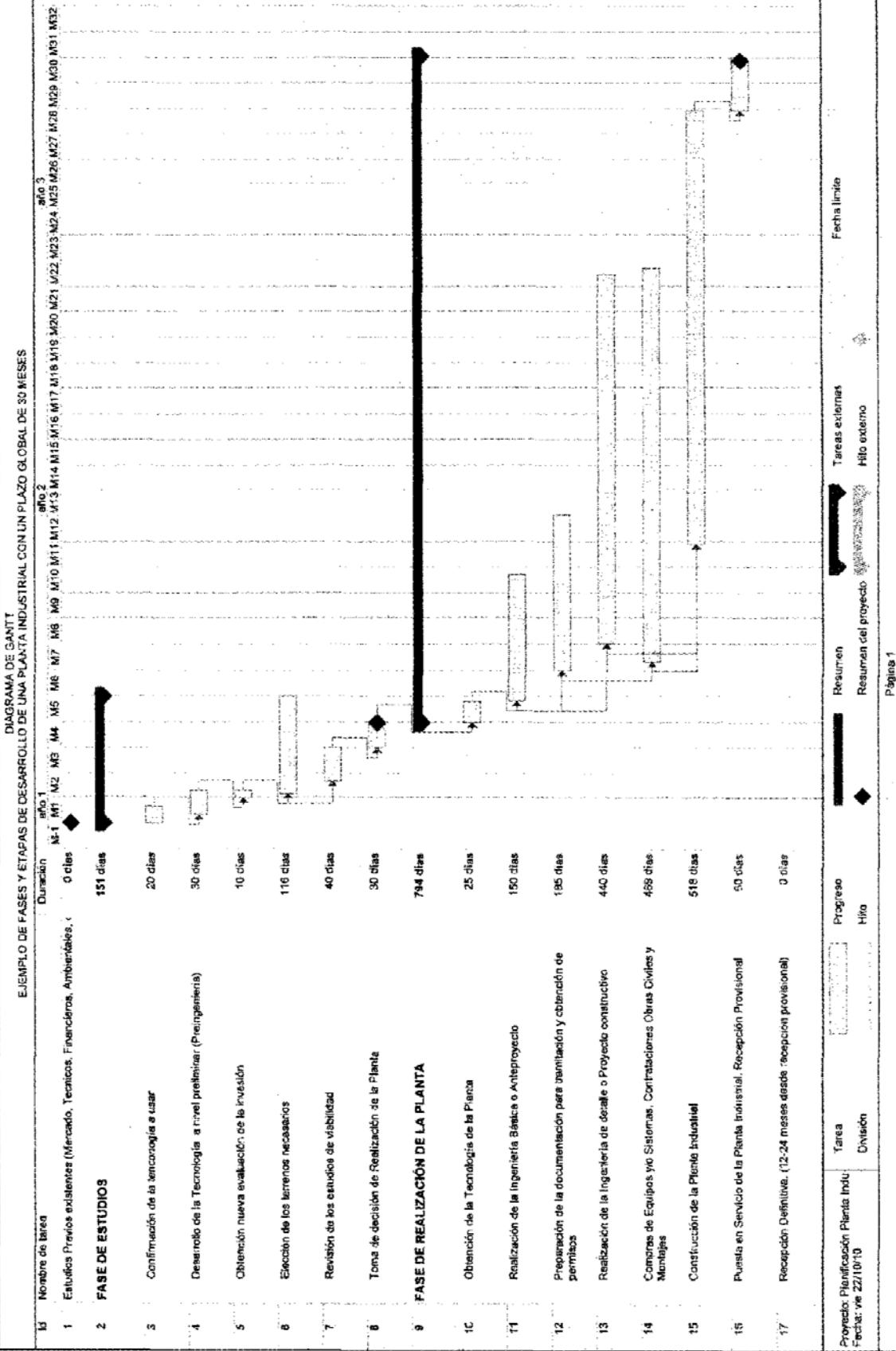
REALIZACIÓN DE LA INGENIERÍA DE DETALLE O PROYECTO CONSTRUCTIVO.

REALIZACIÓN DE LAS COMPRAS. CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA.

PUESTA EN SERVICIO DE LA PLANTA. RECEPCIÓN DEFINITIVA.

### **3.5. SECUENCIA Y SOLAPES DE LA REALIZACIÓN DE LAS ETAPAS**

A continuación y a título únicamente orientativo, se indican en un diagrama de Gantt las etapas de la fase de estudios y las etapas de la fase de realización para una planta industrial que se realiza en un plazo total de treinta meses. Se muestran los solapes entre las diferentes actividades.



## **PREGUNTAS DE AUTOEVALUACIÓN**

### **Tema tercero**

1. ¿Qué conclusiones debemos sacar de este capítulo? ¿Qué importancia tienen las cuestiones económicas en el contenido del capítulo?
2. ¿Por qué debemos confirmar la tecnología a usar? ¿No sería suficiente con las previsiones efectuadas en el estudio de viabilidad técnico?
3. ¿Por qué debemos obtener una nueva evaluación de la inversión? ¿Qué información adicional tenemos para hacerlo? ¿Qué utilidad tiene hacer esto?
4. ¿Qué valoración daría a una topografía muy precisa en un terreno muy accidentado? Comentar las ventajas e inconvenientes.
5. ¿Podría ser definitivo para rechazar un terreno la mala calidad del suelo a efectos de cimentación?
6. ¿Cómo valoraría la posibilidad de utilizar ferrocarril en un suelo industrial? ¿En qué situaciones sería importante?
7. ¿Cómo resultarían afectados los estudios de viabilidad por la variación de los parámetros que se emplean en los mismos? ¿Qué variaciones darían lugar a los mayores impactos?
8. ¿Qué implica el tomar la decisión de realizar la planta industrial en la última fase de los estudios? ¿Podríamos considerar que estamos ante un punto de no retorno? Comentar.
9. ¿Qué implica obtener o comprar la tecnología? Comentar las diferentes situaciones que se pueden producir; ventajas e inconvenientes según quien es el vendedor y la posición del comprador en el mercado.
10. ¿Realizar la ingeniería básica es un paso transcendental a la hora de construir una planta industrial? Dar razones que avalen esta afirmación.
11. ¿Quién debe preparar la documentación para solicitar permisos? Relevancia de esta actividad. Dar razones.
12. Explicar por qué se debe entender que los documentos de un proyecto constituyen un sistema de comunicación.

13. ¿Quién da las órdenes?, ¿quién debe recibirlas y por qué debe acatarlas dentro del sistema de comunicación? Legislación aplicable.
14. Dar diez razones para justificar la labor de un equipo de compras en un proyecto de una planta industrial.
15. ¿Por qué cree Vd. que hay que realizar un seguimiento exhaustivo a los proveedores, tanto desde el punto de vista técnico como económico?
16. Comentar la necesidad de coordinar a todos los que intervienen en una obra si realmente todos saben lo que tienen que hacer en virtud de los contratos firmados.
17. Establecer las prioridades contractuales que deben preverse en las contrataciones de obras civiles y montajes. A quién se le debe dar prioridad en caso de conflicto: al plazo, al dinero, a la calidad o a la seguridad. Comentar diferentes supuestos.
18. Comentar, cuándo, a su juicio, debe hacerse la transferencia de propiedad de la planta industrial ¿Es mejor hacerla a la terminación mecánica o a la recepción provisional? ¿Qué opina de la transferencia de los equipos que se compran directamente e individualmente?
19. ¿En qué momento de la puesta en servicio debe comprobarse que el sentido de giro de los motores eléctricos es el debido? ¿Por qué hay que realizar esta comprobación?
20. ¿Qué limitaciones tiene el acta de recepción definitiva en relación con la responsabilidad decenal prevista en el Código Civil? Comentar posibles contradicciones.

## Tema 4

### La implantación en la planta industrial

#### **Presentación**

Este tema 4 trata sobre la realización de la Implantación en una Planta Industrial, es decir, sobre la ordenación en el espacio de todos los elementos que constituyen la Planta, tales como equipos y sistemas de fabricación, servicios auxiliares, servicios de personal, servicios generales, etc.

Cómo se verá, se parte del proceso de fabricación (conjunto de operaciones unitarias), se determinan los equipos y sistemas para realizar estas operaciones unitarias y sus necesidades de servicios auxiliares y puestos de trabajo, etc., hasta llegar a la configuración de todos los elementos de la planta industrial.

El otro elemento a considerar es el terreno donde se asienta la planta, que es otro de los datos principales del problema y casi tan influyente como el propio proceso de fabricación.

Hacemos notar que para un mismo proceso de fabricación, unos mismos equipos de proceso y un mismo terreno hay muchas alternativas de implantación aceptables. Debemos elegir la más adecuada de acuerdo con los requisitos iniciales que nos hayamos propuesto. Para ello, debemos acudir a evaluaciones multicriterio de las alternativas de implantación que hayamos considerado.

#### **Objetivos**

- El establecimiento de las bases a cumplir (lo que esperamos) de una implantación. Sus condicionantes.
- Definir las dependencias que constituyen una Planta Industrial en un caso general de una gran Planta.
- Establecer los tipos de implantaciones que normalmente se realizan según los tipos de elementos a producir en la Planta Industrial.
- Definir el ciclo de diseño de una Implantación.
- Descripción de las Implantaciones por áreas y del método Muther de una forma simplificada. Evaluación de una solución adoptada.
- Dar a conocer cómo se realiza una implantación general.

#### **4.1. Generalidades**

Vamos a entender de una forma general que Implantación en una Planta Industrial es la ordenación en el espacio y sobre un terreno determinado de todos los elementos y dependencias que hay en la Planta Industrial. La implantación es parte de la ingeniería básica de la planta industrial y se hace siempre utilizando, como datos fundamentales el proceso de fabricación, los equipos y sistemas que realizan las operaciones unitarias y el terreno donde se ubicará la planta.

El objeto de este capítulo es mostrar una metodología para realizar una Implantación de una Planta Industrial, en un caso general.

Debemos reseñar que la forma más rápida y, probablemente, la más adecuada es la de utilizar como modelo una o varias plantas de referencia, que se hubieran construido con anterioridad y en las cuales haya dado tiempo a conocer todos los defectos que tienen en su funcionamiento. El conocimiento de estas plantas y de los fallos que tienen nos orientan sobre lo que debemos hacer o no. Nuestro trabajo de hacer la implantación consistirá en acoplar las diferentes partes de la Planta Industrial al terreno disponible, intentando eludir los fallos que se produjeron en las plantas anteriores y aprovechando lo más posible sus aciertos.

Lo indicado podemos hacerlo únicamente cuando dispongamos de información suficiente y, además, fiable. Hay entidades que se dedican a vender procesos, cosa bastante frecuente en el campo del refino y la petroquímica, que además de licenciar dichos procesos, dan una orientación sobre cómo debe hacerse la implantación en un terreno ideal. También, en los campos de la siderurgia y de la pasta y papel, existen grandes fabricantes o incluso grandes ingenierías que han construido muchas plantas y que también proporcionan implantaciones ya probadas. Del mismo modo, en la industria agroalimentaria existen fabricantes de bienes de equipo y sistemas, que sobre la base su experiencia, pueden orientarnos sobre implantaciones ya existentes y probadas.

Lo anterior quiere decir que antes de acometer la realización de una Implantación debemos explorar si es posible conseguir información de alguna planta de referencia que nos pueda orientar de alguna forma.

Debemos decir que hay infinitas soluciones a la hora de realizar una implantación, por lo que realizada ésta, debemos llevar a cabo una evaluación para conocer en qué medida se cumplen los requisitos impuestos y que tenemos que tener definidos previamente.

A continuación a lo largo de esta lección se va a desarrollar la metodología para realizar una implantación en un caso general.

#### **4.2. Requisitos a cumplir al realizar una implantación de una Planta Industrial. Objetivos que se persiguen.**

Antes de entrar en los Objetivos vamos a indicar en qué ámbitos diferentes nos tenemos que mover al realizar una implantación, ya que estos ámbitos pueden limitar la capacidad de actuación del proyectista a la hora de diseñar.

- a) Un caso frecuente será el tener que hacer una nueva planta industrial. En este caso, las limitaciones serán las impuestas por el proceso, los equipos de fabricación y el terreno donde se ubique la planta.
- b) Puede tratarse de la ampliación de una Planta Industrial existente, con una fabricación del mismo producto o productos, ampliada en cantidad, o puede tratarse de la fabricación de un nuevo producto, que pueda tener algún tipo de sinergia con los que ya se venían produciendo. Las principales limitaciones las imponen las implantaciones existentes y sus posibles relaciones con el nuevo producto a fabricar, además de las propias del terreno disponible. En todo caso, hay que considerar que las ampliaciones del proceso existentes o de un nuevo proceso son determinantes. En este caso además habrá que ampliar también todos o parte de los servicios de personal y servicios auxiliares, así como los servicios generales de la planta.

Dentro de los ámbitos citados de actuación, hay que realizar un análisis profundo acerca de los requisitos que debemos cumplir con la Implantación y determinar las prioridades de los objetivos que se indican a continuación. Esto quiere decir que debemos «a priori», establecer unos objetivos y darles valoraciones o prioridades que en muchos casos podrán ser contradictorias.

Los objetivos básicos son:

- El funcionamiento correcto del proceso de fabricación y de los medios de transporte y manutención necesarios para llevarlo a cabo.
- El funcionamiento correcto de los Servicios Auxiliares de los procesos de fabricación, para el correcto funcionamiento de todos y cada uno de los equipos y sistemas que realizan las operaciones unitarias.
- Facilitar la seguridad y el confort de todos los puestos de trabajo.

- El funcionamiento correcto de los servicios generales de la fabricación, tales como almacenes, talleres de mantenimiento y oficinas de todo tipo.

Todos estos requisitos tienen el carácter de funcionales y suelen ser además imprescindibles. Su existencia y funcionalidad condicionan de manera decisiva el funcionamiento de la Planta Industrial.

Además, y complementando lo anterior, debemos considerar otros posibles objetivos, cuya valoración relativa habrá que establecerla caso a caso. Y son los siguientes:

- Reducir la inversión. Este objetivo se refiere a los equipos de proceso, a los equipos de los servicios auxiliares y a las dependencias que impliquen edificaciones. Está limitado por la funcionalidad y duración de los sistemas y por la legislación aplicable. Tiene incidencia directa en la rentabilidad de la planta.
- Reducir los costes de transporte interiores (dentro de la Planta) reduciendo los costes de manutención, es decir, la manipulación de las materias primas, productos intermedios, productos acabados, etc. Estos transportes interiores pueden tener una gran importancia en la economía del sistema. En plantas siderúrgicas, por ejemplo, pueden representar hasta el 25% de los costes de producción. Por significar un coste se trata siempre de minimizarlo. Este objetivo a veces impone que los lay-out haya que distribuirlos en varias plantas como sucede por ejemplo en los mataderos generales frigoríficos, en los cuales, para mayor economía, se hacen transportes por gravedad.
- La previsión, en la Implantación, de facilitar las posibles ampliaciones de la planta industrial, en el sentido más amplio. Esto implica dotar al lay-out de la máxima flexibilidad en todos los aspectos.
- La unificación de equipos, sistemas y edificaciones a efectos de simplificar el mantenimiento y por tanto sus costes.

Insistimos que en cada caso hay que dar una valoración a los requisitos indicados y en función de esta valoración y mediante un análisis multivariable llegar a comprobar el cumplimiento de los objetivos establecidos previamente. El problema que siempre existe es la dificultad de cuantificar todos los aspectos a considerar en una evaluación. Más adelante profundizaremos en esto al analizar el ciclo de diseño de una implantación.

### **4.3. Las dependencias de una Planta Industrial**

Se pretende ahora el establecer una relación de todos los espacios (dependencias) de una Planta industrial, en el caso general de una gran planta industrial. En una pequeña planta industrial, algunas dependencias no existirán o serán de menor tamaño. En este punto suponemos la existencia de todas y luego descartaremos las no necesarias según los casos.

Al hablar de dependencias nos referimos tanto a espacios al aire libre, como cubiertos (dentro de edificaciones). Estas dependencias o espacios también son conocidos, en términos generales con el nombre de Áreas, que podemos clasificar según las actividades que se realicen en ellas. Realizando la clasificación según este criterio en una Planta Industrial, las Áreas pueden ser las siguientes:

- Áreas de Proceso.
- Áreas de Servicios Auxiliares a los Procesos.
- Áreas de Servicios de Personal.
- Áreas de Servicios Generales.

Las Áreas de Proceso son los espacios donde se realizan las diferentes operaciones unitarias correspondientes a los procesos de fabricación. Habrá tantas áreas de proceso como procesos se realicen en la planta industrial, aunque total o parcialmente los procesos se pueden llegar a concentrar en una sola área.

Las áreas de Servicios Auxiliares son los espacios destinados a producir y proporcionar los servicios necesarios a las diferentes operaciones unitarias, que realizan los equipos o las unidades paquete destinadas a la fabricación. Estos Servicios auxiliares se suelen concentrar en una zona ya que salvo excepciones el coste de transportar estos servicios es bajo. Como tales servicios auxiliares, nos referimos al suministro de energía eléctrica, a la tensión más conveniente, a la producción y distribución de vapor, a los tratamientos de agua y su distribución, a la producción y distribución de aire comprimido, etc. También incluimos como servicio auxiliar la defensa contra incendios (detección y extinción), que normalmente tendrán una dependencia destinada a sala de bombeo, dentro del área de servicios auxiliares.

Las áreas de personal son aquellas destinadas a dotar al personal de los servicios necesarios para que satisfagan sus necesidades vitales y de ocio dentro de una convivencia normal.

Las áreas de servicios generales constituyen un cajón de sastre, cuya importancia vendrá dada por la mayor o menor centralización que tenga la planta industrial en relación con los mercados que atiende.

Ahora vamos a enumerar, dentro de las distintas áreas mencionadas, los espacios que corresponden a cada una de ellas de acuerdo con la actividad que se realiza en las mismas.

#### a) Áreas del proceso

Las constituyen los espacios destinados a la fabricación; es decir, los espacios donde se realizan las operaciones unitarias del proceso o procesos de fabricación. En general son áreas situadas en edificaciones, salvo en el caso de plantas de refino, petroquímica y algunas otras plantas de proceso generalmente químicas, en las cuales las operaciones unitarias se llevan acabo en equipos situados a la intemperie. Esto en algunos casos puede dar lugar a plantas industriales sin edificios o con unos edificios insignificantes. En estas áreas se procura la mayor compacidad para que el coste de transporte de las materias primas, productos intermedios y finales sea lo menor posible.

#### b) Área de servicios auxiliares de fabricación

Consideramos como Servicios Auxiliares de fabricación los siguientes:

- Subestaciones transformadoras de energía eléctrica, centros de transformación y locales de cuadros generales y/o acometidas.
- Plantas de producción de vapor.
- Plantas de tratamiento de aguas para proceso o para calderas.
- Plantas de producción de aire comprimido para accionamientos, limpieza o instrumentación.
- Grupos frigoríficos.
- Maquinaria de climatización y ventilación.
- Estaciones de regulación y medida de gas natural.
- Almacenamiento de gases combustibles (propano y butano).
- Plantas de generación de energía eléctrica para emergencias.
- Plantas de cogeneración con motores o con turbinas de gas.
- Plantas de almacenamiento de oxígeno líquido y vaporización.
- Plantas de almacenamiento de nitrógeno líquido y vaporización.

- Plantas de almacenamiento de otros gases.
- Plantas de almacenamiento de combustibles líquidos.
- Sistemas de protección contra incendios.

Normalmente, en el recinto de una planta industrial todos los servicios auxiliares se suelen concentrar, siempre que no haya incompatibilidad entre ellos, en lo que se conoce como Área de Servicios Auxiliares.

c) Área de Servicios de Personal

También se suelen concentrar en áreas específicas, salvo los servicios que por razones de proximidad hay que situar en zonas de producción, talleres de mantenimiento o almacenes. Pueden ser los siguientes:

- Vestuarios y aseos (masculinos y femeninos).
- Comedores (con cocinas y dependencias anexas, o sin ellas).
- Salas de descanso.
- Servicios médicos.
- Servicios culturales.
- Servicios deportivos.
- Guarderías infantiles.
- Locales para actividades sindicales.

d) Área de Servicios Generales

Suelen ser servicios dispersos anexos a las áreas a las que proporcionan el servicio.

En general podemos considerar las siguientes:

- Oficinas generales y/o de fabricación.
- Almacenes de materias primas y de productos acabados. Se consideran en este apartado los almacenes correspondientes a productos semielaborados, cuando no están integrados en la producción.
- Laboratorios generales y/o de fabricación.
- Talleres de mantenimiento.
- Almacenes de repuestos.

En algún caso especial puede haber alguna dependencia no incluida anteriormente. De todas formas, veremos más adelante, que el tratamiento que damos a su implantación puede seguir las reglas generales que se exponen a continuación.

#### **4.4. Tipos de implantaciones**

Antes de acometer el diseño de una implantación, debemos considerar especialmente si se trata de implantar el proceso de fabricación, qué tipo de implantación de los existentes debemos adoptar. Es frecuente en la práctica que tengamos que realizar una implantación adoptando lo mejor de cada uno de los tipos, con lo cual la solución resultará mixta en cuanto a resultados.

Normalmente los tipos de implantación que se consideran son los siguientes:

- Implantaciones en línea.
- Implantaciones por secciones.
- Implantaciones por producto estático.
- Implantaciones mixtas.

Las características más significativas de los diferentes tipos de implantación indicados son los siguientes:

En la implantación en línea los equipos y/o sistemas que realizan las operaciones unitarias se sitúan siguiendo la secuencia de las diferentes etapas del proceso de fabricación. Cada uno de los equipos o sistemas debe estar coordinado en cuanto a producción con el resto de los equipos o sistemas que conforman el proceso de fabricación. Esto implica que la producción del conjunto la marque el equipo que menos produce y que convierte en un cuello de botella el proceso. Es frecuente modificar capacidades de los equipos de proceso con el fin de suprimir los cuellos de botella mencionados (Debottlenecking de plantas). Estas implantaciones en línea se utilizan para procesos continuos de grandes producciones y son muy frecuentes en la industria química, petroquímica y de refino. Generalmente los transportes entre las operaciones unitarias se hacen por tubería y con menos frecuencia por cintas transportadoras.

En las implantaciones por secciones los equipos y/o sistemas que realizan las operaciones unitarias se agrupan en zonas en las cuales se sitúan las máquinas que pueden realizar la misma función o funciones de la misma naturaleza. Así pues, podemos tener una sección de tornos, una sección de fresadoras, etc. Se consigue una mayor flexibilidad para fabricar diferentes productos y se puede llegar a una mayor adaptación. Esta mayor flexibilidad conlleva el tener que situar almacenes de productos intermedios. Este tipo de implantación por secciones es normal el utilizarlo en industria

metal-mecánica con niveles medianos o bajos de producción, y sobre todo de diferentes productos fabricados.

En la implantación por producto estático lo que se hace es que los medios de producción se acerquen al producto a fabricar, generalmente por su tamaño, y realizan en el propio producto las necesarias operaciones unitarias. Es el caso de la fabricación de un buque en un astillero o incluso la fabricación de un edificio.

Implantaciones mixtas puede haber de diferentes tipos. Un ejemplo puede ser un taller de reparación de locomotoras de ferrocarril. La locomotora se sitúa en un puesto fijo y vienen a desmontarla y llevarse las piezas a reparar y/o sustituir en las diferentes secciones: electricidad, bogíes, etc.

Al igual que se debe elegir un tipo de implantación para las unidades de proceso, hay que hacer lo mismo, y siguiendo los mismos criterios, para los servicios auxiliares, servicios de personal y servicios auxiliares de la fabricación. Señalamos que en estos casos predominan las implantaciones por secciones sobre las implantaciones en línea, simplemente por economía de las soluciones y para conseguir una mayor flexibilidad.

Ahora, y siguiendo los criterios del profesor Heredia en su libro *Arqui-lectura y urbanismo industrial*, vamos a exponer las ventajas y limitaciones de las implantaciones en línea y por secciones.

#### **4.4.1. Ventajas y limitaciones de las implantaciones en línea**

##### **VENTAJAS**

- Al corresponder la implantación a la secuencia de las operaciones unitarias del proceso, se obtienen unas líneas de tráfico más lógicas y suaves.
- Como el resultado de cada operación unitaria (producto intermedio) se traslada directamente a la siguiente operación unitaria, resulta que los inventarios de productos intermedios son nulos o al menos de pequeña cuantía.
- El tiempo de producción es menor por unidad de producto.
- Como los equipos o sistemas de producción se disponen de forma que se minimicen distancias entre operaciones unitarias consecutivas, se reduce la manipulación de productos intermedios y por tanto el coste.
- No se necesita gran habilidad en las personas que atienden la línea. Resulta así que la preparación de la mano de obra es más simple y menos costosa.

- Es posible una planificación y control sencillos.

Se necesita menos espacio en la implantación, por la no existencia de almacenes intermedios.

#### LIMITACIONES DE UNA IMPLANTACIÓN EN LÍNEA

- La rotura, avería o parada de una máquina lleva consigo el paro de toda la línea de producción a partir de la máquina o sistema fuera de servicio. También será necesario en general parar las máquinas anteriores. En plantas de proceso puede ser necesario activar algún sistema de alarma
- Como la implantación (lay-out) es función directa del proceso de producción, un cambio en el diseño del proceso puede requerir alteraciones importantes en la implantación. Es el caso de la eliminación de cuellos de botella.
- El ritmo y la cantidad de producción lo condiciona la máquina o sistema más lento.
- La supervisión puede ser más especializada (mayores automatismos).
- Es necesaria más inversión, ya que a lo largo de la línea se encontrarán máquinas o sistemas que no operan al máximo rendimiento.

#### 4.4.2. Ventajas y limitaciones de una implantación por Secciones

##### VENTAJAS

- Una mejor utilización de las máquinas y/o sistemas; por tanto son necesarias menos máquinas y/o sistemas.
- Muy alto grado de flexibilidad en cuanto a la disponibilidad del equipo o del personal para realizar tareas específicas.
- Precisa menor inversión en maquinaria.
- Normalmente la diversificación de tareas ofrece una ocupación más interesante y satisfactoria para los empleados.
- Es posible una supervisión más especializada.

##### LIMITACIONES DE UNA IMPLANTACIÓN POR SECCIONES

- La manipulación de materiales se hace más costosa.
- Es necesario prestar mayor atención a los sistemas de producción, su planificación y control.

- Normalmente el tiempo de producción es mayor.
- En comparación con la implantación en línea, resultan mayores valores de materiales en proceso de fabricación, lo cual aumenta los inventarios.
- Como consecuencia de lo anterior, el trabajo en curso necesita mayor espacio (mayor inversión en capital).
- A causa de la diversidad de trabajos a realizar en secciones especializadas, es necesario mayor nivel de especialización de los empleados.

Considerando lo anteriormente expuesto, debemos adoptar a priori un tipo de implantación. Normalmente elegiremos en plantas industriales de proceso continuo las implantaciones en línea (producción de un solo producto) y en plantas multiproducto y/o de proceso discontinuo, elegiremos implantaciones por secciones. Hay que considerar que lo indicado es una regla general y que puede haber muchas excepciones.

Es evidente que tenemos que elegir con fundamento, y si no se cumplen los objetivos tenemos que volver atrás y reconsiderar la situación.

#### **4.5. CICLO DE DISEÑO DE UNA IMPLANTACIÓN**

Se trata de establecer cómo realizamos una implantación, es decir los pasos que debemos dar.

En primer lugar realizaremos la implantación de los equipos de proceso sobre un terreno ideal, en el área que llamaremos de proceso; después, haremos la implantación de todos y cada uno de los servicios auxiliares (agua, vapor, etc.) para continuar con la implantación de los servicios de personal, y en cuarto lugar, haremos la implantación de todos y cada uno de los servicios generales de la fabricación. Como se puede apreciar lo más relevante es el proceso de fabricación. El resultado de lo anterior son una serie de implantaciones parciales teóricas realizadas sobre terrenos ideales, las cuales debemos situar después sobre el terreno real, considerando las características de ese terreno y los transportes y circulaciones exteriores necesarios que darán lugar a la implantación de conjunto o implantación general. Ver figura 4.1.

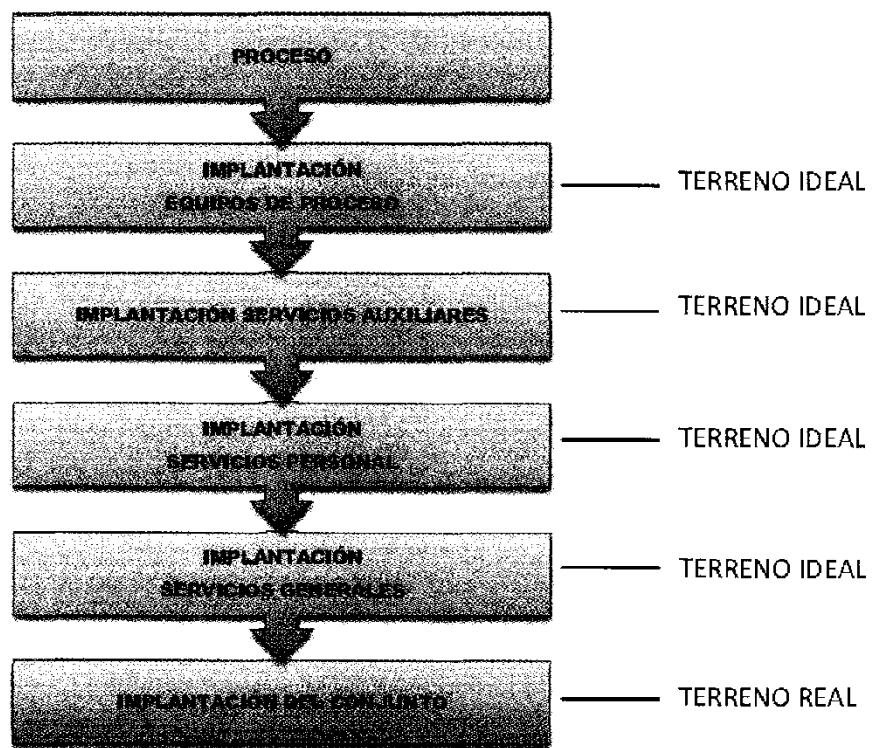


Figura 4.1

Comenzando por la implantación de los procesos de fabricación el dato de partida es el propio proceso de fabricación, es decir, el conjunto de operaciones a realizar y la secuencia de las mismas, y los equipos que realizan las operaciones unitarias. Para realizar esta implantación teórica hay que realizar lo siguiente:

- Tener conocimiento de los equipos y/o sistemas (unidades paquete) y redactar lo que conocemos como programa derivado del proceso. En todo caso las operaciones unitarias las realizaran equipos o sistemas. Cada equipo o sistema requerirá un espacio según sus dimensiones y además tenemos que considerar los espacios necesarios para los puestos de trabajo del personal que atiende y opera los equipos. En muchas ocasiones estos espacios deben tener una cierta cualificación, tal como sucede en el caso de máquinas que generan vibraciones en su funcionamiento. También estos espacios deben prever las entradas de materias primas o productos semielaborados y las salidas de los productos resultantes de la operación unitaria realizada. Además de estas consideraciones, también es necesario alimentar a las máquinas y/o sistemas con los servicios auxiliares que necesitan, por ejemplo, energía eléctrica, vapor, aire comprimido, etc. Estas acometidas de servicios también requieren espacios en el entorno de cada máquina. Ver figura 4.2.

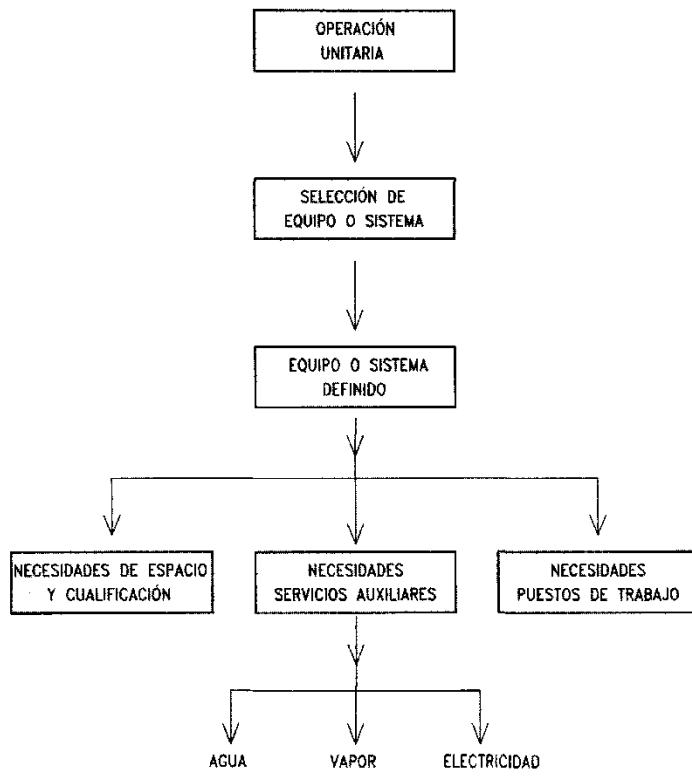


Figura 4.2

Es decir, que el primer paso que debemos dar es la selección del equipo o sistema que realizará la operación unitaria. Como puede haber diferentes alternativas, en ese momento es necesario que los ingenieros de proceso o a veces el propio licenciatario del proceso actúe dando la correspondiente recomendación en base a su experiencia y también considerando la situación de los mercados de fabricantes, que a veces pueden estar saturados.

Si realizamos lo anterior para cada operación unitaria de las que componen el proceso, tendremos el programa de espacios del conjunto de los equipos de proceso con las necesidades de cada uno en cuanto a servicios auxiliares y mano de obra.

El siguiente paso será la ordenación de los espacios correspondientes a cada uno de los equipos o sistemas que realizan las operaciones unitarias sobre un terreno ideal. En este punto debemos tomar la opción de elegir qué tipo de implantación para el equipo de proceso debemos adoptar.

- Implantación en línea.
- Implantación por secciones.
- Implantación por producto estático.
- Implantación mixta.

En general para un solo producto o muy pocos en cantidades grandes se optará por implantaciones en línea; y para la fabricación de muchos productos, normalmente en pequeñas cantidades, se optará por la implantación por secciones. En general será relativamente fácil optar por una implantación por producto estático.

El siguiente punto consiste en cómo ordenar los espacios correspondientes a cada operación unitaria, conociendo cómo es cada espacio de los que tenemos que ordenar.

La respuesta a esta cuestión es muy clara:

- Utilizando una Planta Industrial de referencia.
- Utilizando algunos de los métodos de los existentes para realizar implantaciones.

Antes de desarrollar este apartado se van a establecer las bases para realizar el resto de las implantaciones de la planta industrial, es decir, se trata de determinar cómo establecemos los programas de necesidades del resto de áreas de la planta.

Para determinar el programa de necesidades de los servicios auxiliares son necesarias al menos dos etapas. La primera etapa se refiere al conocimiento de los servicios auxiliares que necesita cada equipo de proceso, y la siguiente etapa se refiere al conocimiento de los servicios auxiliares que requieren los propios servicios auxiliares (por ejemplo la energía eléctrica que necesita una planta de producción de aire comprimido) y el resto de dependencias de la planta aun no definidas en este momento.

La situación, especialmente, resulta incierta con los servicios auxiliares necesarios para las dependencias y equipos aún no definidos. La forma en que se debe atacar este problema es mediante estimaciones, ya que en general los consumos suelen ser menores en comparación con los que necesitan las unidades de producción o unidades de proceso.

Estas estimaciones de consumos están básicamente referidas a los correspondientes a la energía eléctrica, tanto de fuerza como de adumbrado, ya que el resto de los servicios suelen, o no, ser necesarios, o serlo en pequeñas cantidades, poco relevantes en esta etapa del diseño. Ver figura 4.3.

El esquema de actuación sería el siguiente:

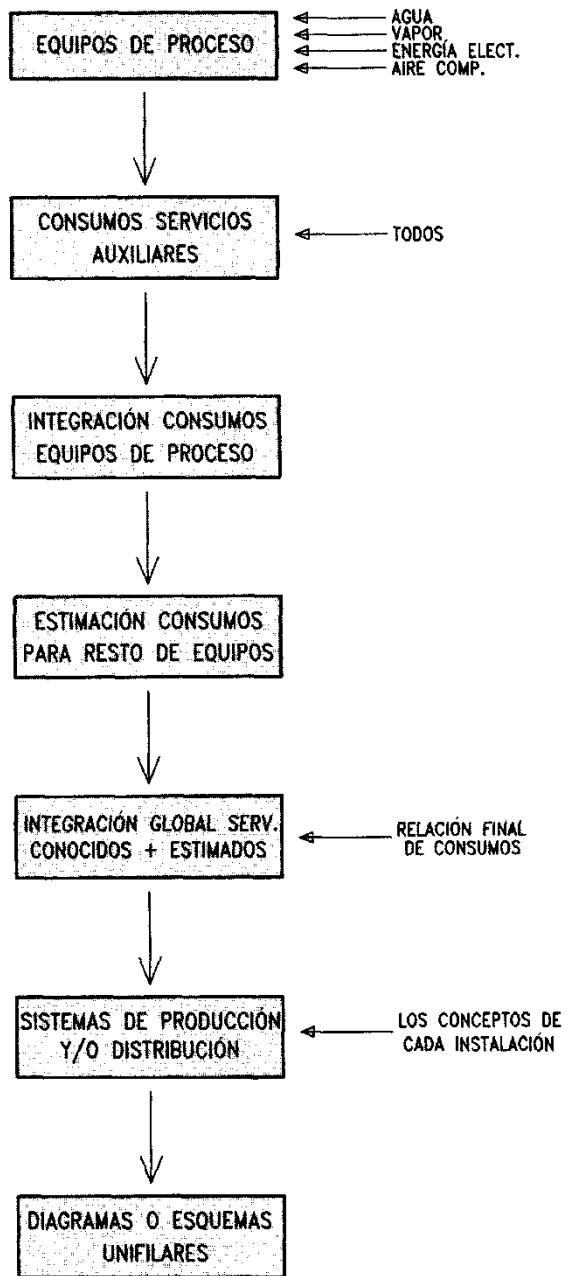


Figura 4.3

Resulta fácil el determinar los consumos de los servicios auxiliares, ya que es una información que pueden proporcionar los fabricantes de equipos y/o sistemas.

Resulta también asequible el integrar los consumos de servicios auxiliares que necesitan los diferentes equipos que llevan a cabo las operaciones unitarias. Por ejemplo un resultado podría ser:

Necesidad de 400 KVA a 380 V

Necesidad de 1.500 KVA a 6.000 V

Necesidad de 200 KVA a 380 V alumbrado

Necesidad de 200 m cúbicos/hora de AC a 8 bares

Necesidad de 1.500 m cúbicos/hora de AC a 6 bares

Necesidad de 75.000 kg de vapor/hora a 40 bares, etc.

Estos datos junto con las estimaciones de las dependencias aun no definidas nos proporcionan una suma con las especificaciones básicas para cada servicio auxiliar, incluso en algunos casos se puede predeterminar su variación a lo largo del tiempo de operación de la planta.

En este momento se nos plantea el cómo vamos a suministrar estos servicios auxiliares, cómo vamos a producirlos en su caso y cómo vamos a llevarlos a los equipos y dependencias que los requieren para funcionar. Aquí juega un papel importante la dependencia del exterior en cuanto a la utilización de los servicios disponibles en el entorno de la Planta. Por ejemplo, tenemos una toma de gas en el exterior a 16 Bares y necesitamos consumirlo a 4 Bares o por el contrario necesitamos consumirlo a más presión en una planta de cogeneración. La solución será dotar a la planta de las instalaciones capaces de elevar la presión. Ver figura 4.4.

Lo anterior implica que tenemos que resolver cada servicio auxiliar necesario en los aspectos de acometida, transformación, almacenamiento, distribución, etc., es decir, tendremos que determinar los diagramas de flujo o diagramas unifilares, ambos adimensionales, de cada uno de los servicios auxiliares. A los efectos de realizar una implantación, estos diagramas nos muestran las operaciones a realizar y los sistemas de transporte necesarios para llevar cada servicio auxiliar a los puntos de consumo.

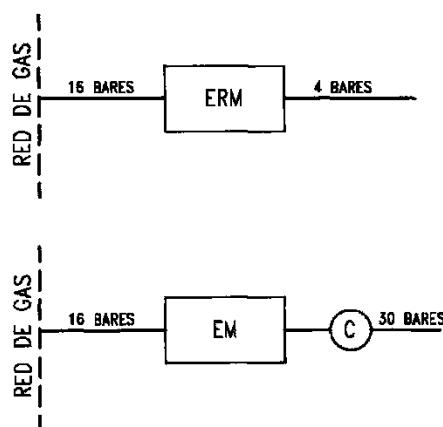


Figura 4.4

Las operaciones serán realizadas por equipos y/o sistemas que al igual que en el caso de los procesos tenemos que elegir. El procedimiento será esencialmente el mismo que el caso de los equipos de proceso, hasta que se establece el programa de necesidades, es decir:

- Elección del equipo o sistema que realice cada operación (caldera, transformador, compresor, desaladora, etc.).
- Dimensiones y características del espacio requerido.
- Programa de espacios para cada servicio auxiliar.
- Necesidades de los sistemas de transporte de los servicios auxiliares (tuberías, cables, etc.).

Con la información anterior tenemos los datos necesarios para establecer el programa de necesidades para cada servicio auxiliar. El siguiente problema es realizar la implantación de los equipos o sistemas de cada servicio.

En este caso, como ya hemos indicado anteriormente, se trata de dotar a la planta de un Área de Servicios auxiliares evitando en todo caso las incompatibilidades entre los servicios a la vez que tendiendo a la mayor concentración de los mismos.

Los sistemas de transporte hay que diseñarlos para el buen abastecimiento de cada punto de consumo. A partir de aquí procederemos a realizar la implantación de los servicios auxiliares con iguales criterios que para las unidades de proceso y además en todo caso aplicando la normativa específica, correspondiente.

- Utilizando plantas o sistemas de referencia.
- Utilizando métodos probados para realizar implantaciones.

En el caso de los servicios auxiliares hay muchas implantaciones típicas, por ejemplo de salas de calderas, subestaciones eléctricas, centros de transformación, salas de compresores, estaciones de bombeo en instalaciones de protección contra incendios.

En cuanto a los Servicios de Personal, el punto de partida tiene dos vertientes:

- Establecer qué servicios se van a considerar como necesarios en la Planta Industrial. Se establecerá un listado.
- Qué cantidad de personas (según sexo) será necesario atender y la cualificación de estas personas. El autor ha visto en países nórdicos, que en algunas factorías hay tres categorías de comedores.

Normalmente en una planta de tamaño medio y grande será necesario disponer de los servicios de personal que indicábamos anteriormente, especialmente si la producción se lleva a cabo en más de un turno de trabajo o se hacen los turnos con interrupciones.

El número de trabajadores viene dado por las necesidades de puestos de trabajo del sistema de producción y de los servicios auxiliares ya determinados anteriormente. Además será necesario estimar los puestos de trabajo correspondientes a los propios servicios de personal y de los correspondientes a los Servicios Generales de Fabricación que pueden tener una gran importancia.

Así pues los datos del problema son:

- Servicios de personal a establecer según necesidades. Tipos de locales.
- Número de personas que usarán los servicios por sexo y categorías.

Las Normativas Municipales y las de Seguridad y Salud en el Trabajo establecen, normalmente, superficies mínimas según los servicios para cada trabajador, con lo que será fácil establecer programas de superficies igual que en los casos anteriores de proceso y servicios auxiliares.

También hay que establecer el nivel de atención que se quiere proporcionar en un servicio de personal. Por ejemplo, un servicio médico puede ser para atenciones primarias (salas de curas) o para intervenciones de una cierta importancia. Estas cuestiones están en relación con el número de trabajadores de cada factoría. También puede variar el programa, el hecho de externalizar el servicio (p. e. el servicio de *catering* en los comedores de la empresa), etc.

En este caso de los servicios de personal, la implantación obedecerá a razones de proximidad y evitación de grandes recorridos y procederemos como indicábamos anteriormente, es decir:

- Utilizando para cada servicio modelos de referencia, con superficies unitarias que cumplan las Ordenanzas y las Normas de Seguridad e Higiene
- Utilizando métodos probados de implantación.

En el caso de los Servicios Generales de Fabricación procederemos de igual forma, es decir, primero definiremos cuáles son y después estableceremos los programas de necesidades de cada uno de ellos en función de los equipos y/o sistemas (por ejemplo, en talleres de mantenimiento) y de los puestos de trabajo necesarios para operarlos. En el caso de personas se trata de determinar cuántas, sus categorías y nivel y, sobre todo,

las relaciones de proximidad que deban tener (esto es especialmente importante en el caso del diseño de unas oficinas generales). Normalmente no presenta problemas el diseño de oficinas de producción cuya ocupación de espacios es mínima. En cambio sí presentan muchos problemas el diseño de unas oficinas generales porque suele ser difícil llegar al consenso de sus ocupantes en la distribución en planta de las mismas.

Indicamos que el procedimiento de actuación es el mismo que en los casos anteriores, es decir:

- Establecimiento de un programa de necesidades en función de los espacios necesarios para los servicios y para los puestos de trabajo.
- Establecimiento de un programa de relaciones que por ejemplo en el caso de unas oficinas generales podría ser el organigrama funcional de las mismas.

En este caso podríamos utilizar también para la implantación modelos ya probados o utilizar métodos de implantación basados en relaciones de proximidad. Entendemos que esto último es lo que más procede por las singularidades que se suelen presentar en todos los casos reales. Resumiendo en este punto nos encontramos con la siguiente información:

- Áreas de proceso. Hay un programa de necesidades derivado de la elección de equipos/sistemas de proceso, determinados los puestos de trabajo y su interrelación a través de los diagramas de proceso.
- Áreas de servicios auxiliares. Habremos determinado cuáles son, estableciendo cuáles son sus diagramas de funcionamiento, elegidos los equipos y puestos de trabajos necesarios, así como de los puntos de consumo o de utilización de estos servicios auxiliares.
- Áreas de personal. Habremos determinado las personas su cualificación, su número y sexo y las relaciones que deben tener según los servicios considerados.
- Áreas de servicios generales de fabricación. En este caso no suelen ser áreas concretas sino dependencias individualizadas según funciones a atender, que normalmente se adosan a las áreas de fabricación. Igualmente tendremos las necesidades de espacio según las actividades a desarrollar.

Todo lo indicado anteriormente constituye el punto de partida para realizar las implantaciones de cada área de las mencionadas y objeto del siguiente apartado.

Por último también tenemos el terreno real, cuya definición viene condicionada por:

- Accesos: carreteras, ferrocarril, puertos marítimos o fluviales.
- Superficie y forma geométrica del terreno. Poligonal y cotas.
- Geología y geotecnia.
- Ordenanzas de aplicación (retranqueos, alturas máximas, metros cúbicos por metro cuadrado de terreno, etc.).
- Climatología.
- Proximidad o lejanía a áreas urbanas.
- Proximidad o lejanía a acometidas de fluidos y energía.
- Normativa Medio ambiental.
- Normativa P.C.I.

#### **4.6. LA IMPLANTACIÓN POR ÁREAS**

Cada una de las áreas mencionadas de que consta habitualmente una Planta Industrial, es decir:

- áreas de Proceso.
- áreas de Servicios Auxiliares.
- área de Servicios de Personal.
- área de Servicios Generales de Fabricación.

Requiere de una Implantación teórica por sí misma de acuerdo con sus características. Después, en función del terreno disponible y los sistemas de transporte y accesos, tendremos que hacer la implantación general, que normalmente nos hará variar alguna o todas las implantaciones teóricas adoptadas para las diferentes áreas.

El problema que se aborda ahora es cómo llegar a estas implantaciones teóricas de las diferentes áreas.

Para las áreas de Proceso, es decir, los lugares en los que se realiza la fabricación, el punto de partida es siempre el Proceso de Fabricación, los equipos y/o sistemas (unidades paquete) que van a realizar las operaciones unitarias del Proceso y las necesidades de los equipos en cuanto a espacios y sus características, los puestos de trabajo que generan y los Servicios Auxiliares que necesitan.

El esquema es el que se muestra en la figura 4.5.

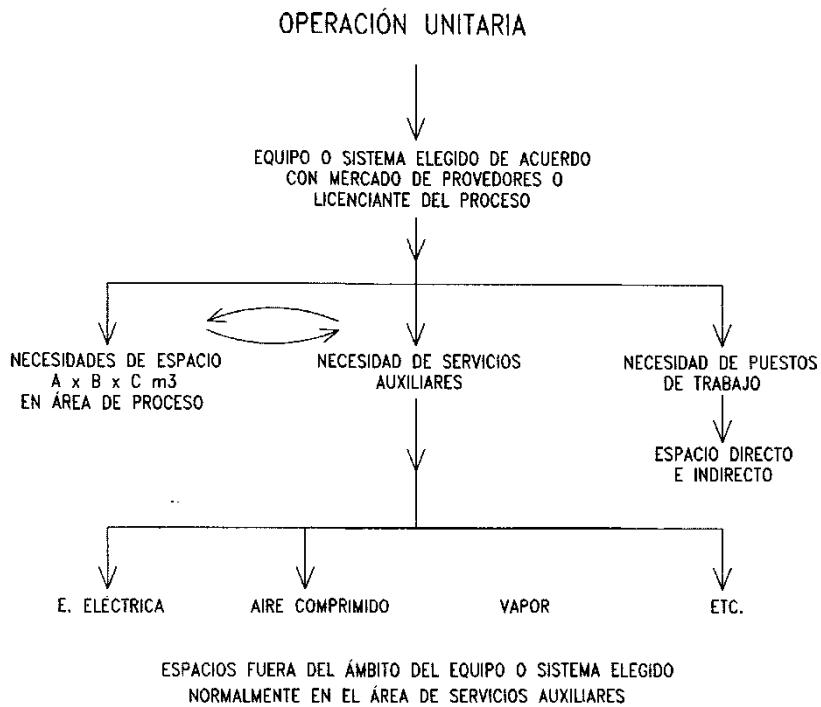


Figura 4.5

La Implantación de un Área de Proceso o Fabricación, como se indicó anteriormente, consiste en ordenar en el espacio la colocación de los equipos o unidades paquete de acuerdo con la secuencia marcada por el Proceso de Fabricación.

En este punto hay que tomar la decisión de elegir una implantación en línea o una implantación por secciones (recordar ventajas e inconvenientes de cada una). En general esta decisión suele ser fácil de tomar, según lo indicado a continuación: ver figura 4.6.

Habiendo decidido el tipo de implantación para el equipo de proceso, entramos ahora en la forma de proceder para realizar la implantación.

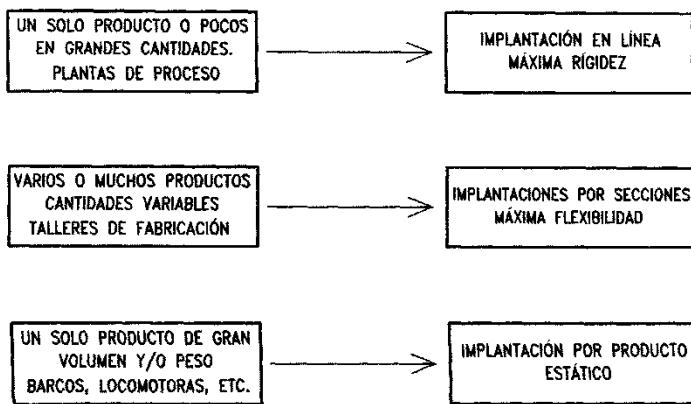


Figura 4.6

#### 4.6.1. Implantaciones en línea

La forma más sencilla de realizar una implantación en línea es utilizar una planta de referencia de la cual se han podido extraer los fallos que presenta su implantación a través de la experiencia tenida en la operación de la Planta.

Esta información correspondiente a una Planta de referencia la puede dar con el mayor conocimiento de causa el licenciante del proceso o bien un fabricante de este tipo de plantas, que normalmente también licencia o también usuarios con plantas en funcionamiento. También se puede dar el caso de que no haya licenciantes de proceso, pero puede haber suministradores de Know-How que venden precisamente este «saber hacer» del tipo de plantas en cuestión.

Debemos considerar en todo caso que la proximidad entre uno y otro equipo o entre dos operaciones unitarias, vendrá dado por su posición en el diagrama de flujo del proceso. Podemos valorar cuantitativamente dicha proximidad haciéndola depender del coste del transporte del producto intermedio entre las dos operaciones unitarias. Cuanto mayor sea el coste de transporte por metro lineal de recorrido, mayor necesidad de que los equipos o sistemas estén más próximos. Ver figura 4.7.

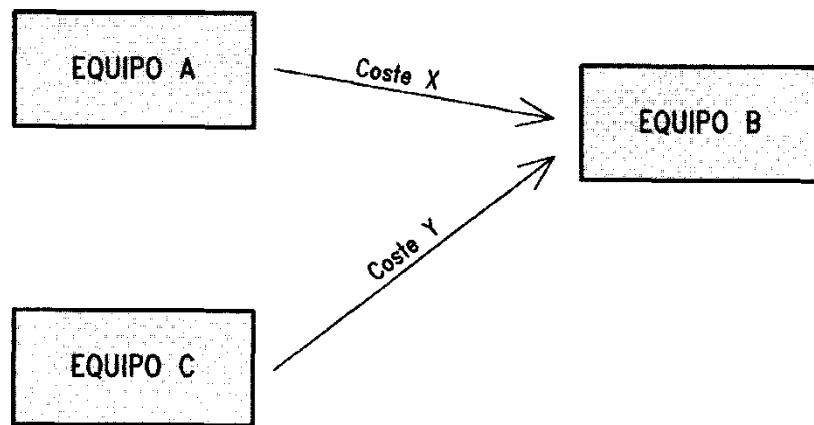


Figura 4.7

Si X es el coste por metro lineal, entre el equipo A y el equipo B, e Y es el coste por metro lineal entre el equipo C y el equipo B, resultará más adecuado colocar el equipo A más próximo al equipo B, que el C al equipo B, porque la operación será de menor coste, si  $X > Y$ .

Un ejemplo de lo anterior puede ser que el equipo A sea un homo de una fábrica de cemento, el equipo B sea un molino mezclador de Clinker y aditivos y el equipo C sea un equipo de preparación de yesos u otro aditivo, que sea necesario adicionar al clinker.

Más adelante se verá que en este tipo de implantaciones de Plantas de Proceso continuo es aplicable el método Muther utilizando como factor de proximidad el coste de transporte de los productos intermedios entre dos equipos que realizan operaciones unitarias adyacentes en un diagrama de proceso.

#### **4.6.2. Implantación por Secciones**

En este caso resulta, en términos generales, más difícil encontrar una planta de referencia, que nos sirva de guía, precisamente por la enorme casuística que se puede presentar por la gran variedad de productos a fabricar. Estos casos requieren siempre una gran flexibilidad en la producción.

Ocurre que nos encontramos que es necesario desarrollar un diferente proceso para cada producto a fabricar. También ocurre que los diferentes procesos tienen, o al menos pueden tener, operaciones unitarias comunes.

La solución es organizar las máquinas o los sistemas que realizan cometidos iguales o parecidos por secciones (sección de tornos, sección de fresas, etc.). También cómo para fabricar una pieza ésta tendrá que pasar por diferentes secciones, es necesaria la dotación de almacenes intermedios de piezas semielaboradas. En estos casos estos almacenes tienen una gran importancia al establecer la implantación.

También en este caso es aplicable el Método Muther que aludíamos antes utilizando factores de proximidad según la vinculación que haya entre las diferentes operaciones o actividades correspondientes a cada proceso.

#### **4.6.3. El método Muther**

Vamos a describir de una forma simplificada el método desarrollado por Richard Muther en su obra *Systematic Layout Planing*, más conocido abreviadamente como S.L.P. Este método está basado en el conocimiento de todas las actividades a desarrollar en un proceso de fabricación, en su vinculación o grado de proximidad que deben tener y los espacios necesarios para desarrollar cada actividad. En la figura 4.8 se indica el esquema global del procedimiento.

La primera etapa del método S.L.P. es el análisis de Producto/Cantidad. Este análisis nos determina el tipo de Implantación. Si tenemos un producto o muy pocos productos en cantidades importantes a fabricar, debemos ir como decíamos antes a implantaciones en línea. Si por el contrario tenemos muchos productos en cantidades pequeñas, debemos ir a implantaciones por secciones.

En ambos casos las actividades a realizar (operaciones unitarias) y los flujos de materiales (transporte entre actividades) darán lugar a un organigrama de relaciones o diagrama de flujo de cada proceso. Ver figuras 4.9 y 4.10.

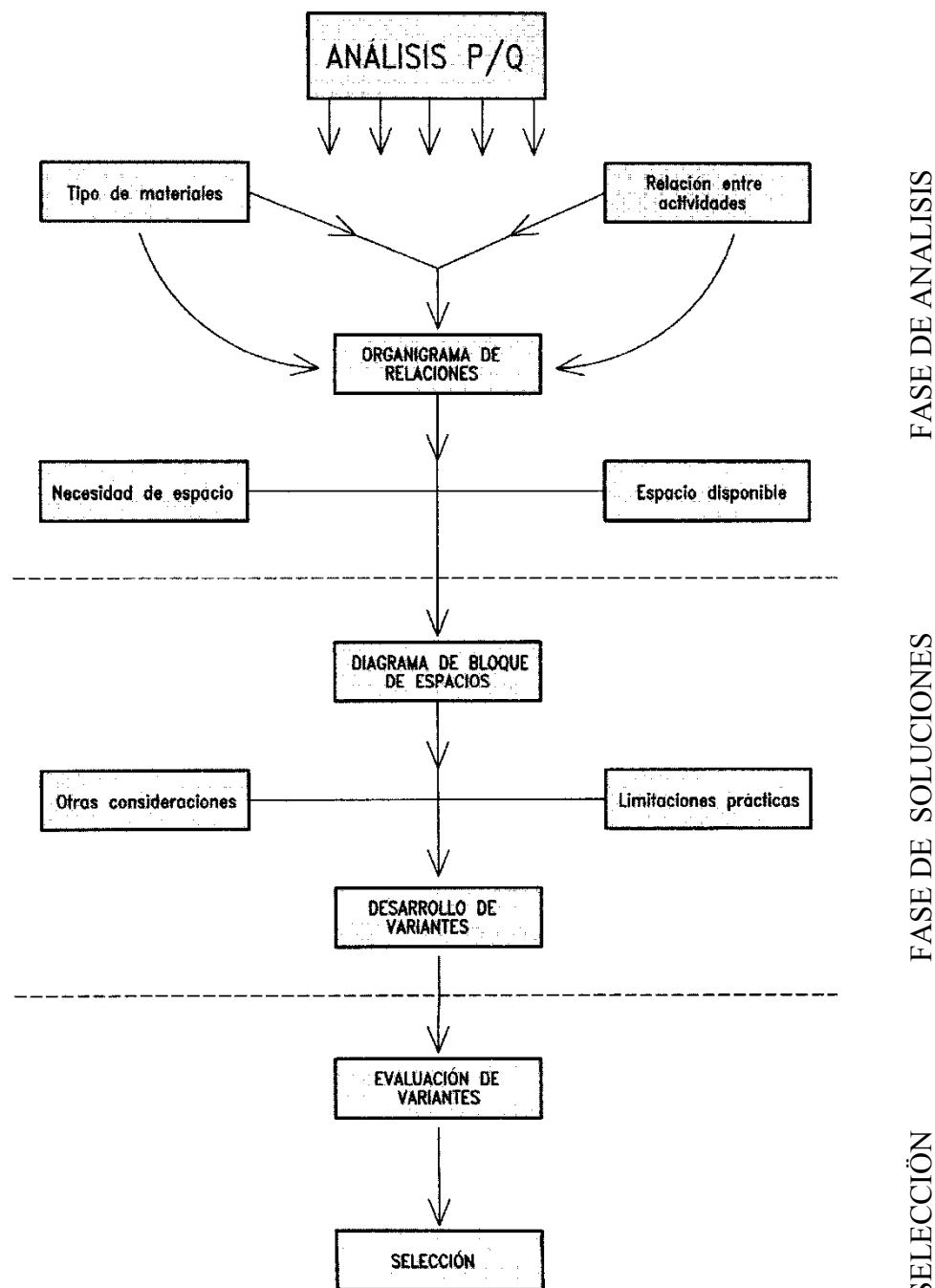


Figura 4.8

FASE DE ANÁLISIS

FASE DE SOLUCIONES

SELECCIÓN



Figura 4.9

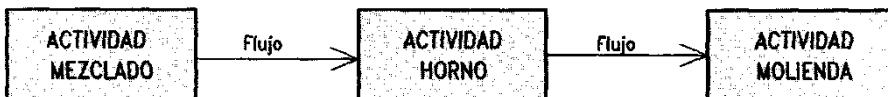


Figura 4.10

La primera figura se refiere a una parte de la fabricación de una pieza mecánica y la segunda a una parte del proceso que se sigue en una fábrica de cemento.

Igualmente podríamos considerar en el diseño de una implantación de un edificio de oficinas. En este caso en lugar de tener un diagrama de flujo tendremos un organigrama de las funciones (actividades) que se realizan en las oficinas. Esencialmente el tratamiento que daremos será el mismo en todos los casos.

El siguiente paso que daremos en esta fase de análisis es llegar al conocimiento del espacio necesario para cada actividad; es decir, que asociado a cada máquina o sistema (equipo de fabricación) habrá un espacio necesario para realizar la misma, que es el requerido por las máquinas, puestos de trabajo y las acometidas de los servicios auxiliares. Habrá que contrastar estos espacios requeridos con los espacios disponibles y aquí acaba la fase de análisis.

Esencialmente hemos analizado lo que tenemos que hacer, en qué, secuencia hay que hacerlo y el espacio necesario.

La siguiente fase es la búsqueda de soluciones. Esta búsqueda se comienza estableciendo los diagramas de bloques con cada espacio necesario para cada actividad. Se estudia la relación que debe haber entre las actividades, es decir, la importancia de las proximidades y alejamientos sobre esta base establecemos las diferentes variantes de la implantación.

Resulta evidente que este problema no tiene una solución única, sino que podemos establecer variantes de la implantación requerida que tendremos que analizar para elegir la mejor o la menos mala.

Lo anterior nos hace entrar en la fase de selección a la que se llegará mediante un método de análisis multivariable, con componentes que pueden no ser cuantificables.

Hay que decir que hay bastantes métodos para desarrollar Implantaciones, pero el método S.L.P. es en su aplicación bastante intuitivo y lógico.

En el desarrollo del S.L.P. hay tres puntos fundamentales que hay que tener en cuenta siempre, y son los siguientes:

- 1º Las actividades u operaciones unitarias en una implantación siempre están relacionadas con una mayor o menor importancia. El diagrama de flujo del proceso indica las relaciones entre actividades aunque no suele indicar la necesidad de proximidad entre dos actividades.
- 2º Cada actividad u operación unitaria requiere un espacio que dependerá del equipo o sistema elegido para realizarla, de los puestos de trabajo necesarios, de las acometidas de servicios auxiliares y de los sistemas de transporte de entrada y salida de cada actividad, así como de la necesidad o no de almacenamientos intermedios.
- 3º Cada una de las variantes que se puedan establecer al realizar una implantación deberá ser un ajuste congruente de los espacios de cada actividad, de acuerdo con las relaciones que establezca el diagrama de flujo.

Lo indicado como cuestiones fundamentales lo podemos resumir y analizar en las siguientes figuras.

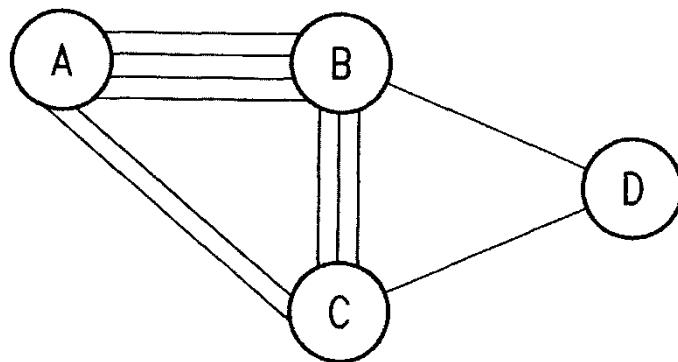


Figura 4.11

Esta figura 4.11 indica que para la fabricación de un producto se tienen que realizar las actividades A, B, C y D. Se unen las actividades por rayas que pretenden medir la importancia de la proximidad entre actividades por el número de rayas (en términos cuantitativos o cualitativos). Así cuatro rayas quieren decir que A y B deben estar más próximos que las actividades B y C que las unen solo tres rayas, y que ambas, más que A y C que son dos rayas.

En la siguiente figura 4.12 ya se ha tomado la decisión acerca de qué máquina realizará cada actividad, y sabremos qué espacio se necesita (máquinas y/o sistemas, más puestos de trabajo, más acometidas de servicios auxiliares, más sistemas de transporte y almacenamientos intermedios si los hubiere). Lo normal es dar a la superficie necesaria forma rectangular, aunque podría ser de cualquier otra forma geométrica, que normalmente sería menos económica de llevar a cabo.

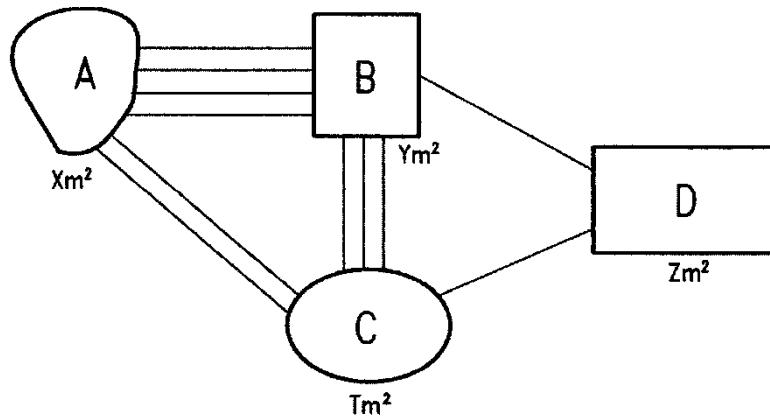


Figura 4.12

Por último se realiza la fase de ajuste de los espacios requeridos para las cuatro actividades. Este ajuste tenderá a hacerse de tal manera que las relaciones de proximidad actúan como muelles que tienden a juntar las actividades según la K de cada uno de los muelles (cuatro rayas, tres, dos, una). Incluso podría haber K negativas que indicarían que no es deseable una proximidad entre dos actividades.

Una solución podría ser la que se indica en la figura 4.13.

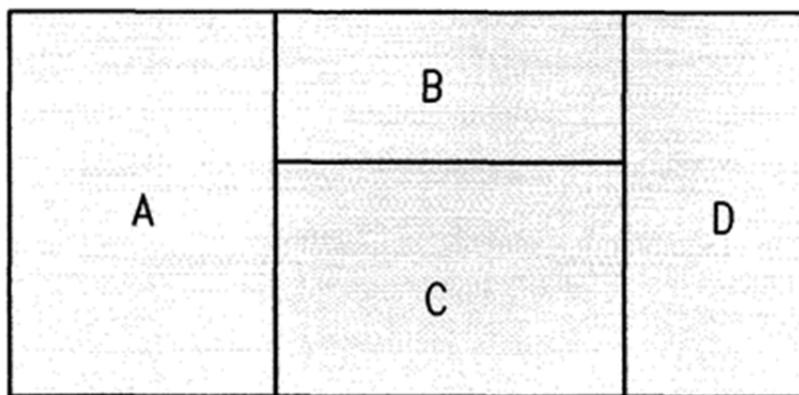


Figura 4.13

A veces, el problema consiste en saber establecer la importancia de la proximidad entre dos operaciones unitarias.

Volviendo a lo indicado anteriormente en un proceso de fabricación continuo que requiere una implantación en línea con cantidades grandes de producto, el factor de proximidad se puede establecer en función del coste del producto semielaborado entre dos operaciones unitarias. Evidentemente el objetivo es minimizar el coste del transporte. Es, por ejemplo, el caso de una fábrica de pasta de papel donde se funciona con fluidos del 2% de fibra y el resto de agua. Está claro que debemos evitar transportes inútiles de agua.

Sin embargo, en implantaciones por secciones, por ejemplo una planta de oficinas, el asunto de las relaciones de proximidad se presenta de tal forma que su tratamiento es más discutible. En este caso resulta evidente la necesidad de proximidad de un D.G. y su secretaria, no lo es tanto esta necesidad de proximidad entre un D.G. y el Director Financiero o el Director Comercial o el Director de Recursos Humanos. La pregunta es cómo debemos proceder para objetivizar lo más posible esta cuestión. Realmente no existe una respuesta clara y justificable, aunque podríamos recurrir a contar los recorridos de cada uno durante meses, cosa que nos podría justificar aunque no llegáramos a ninguna conclusión clara.

Lo anterior da una idea sobre lo lógico y razonable que puede ser el realizar una implantación de equipos y sistemas de una Planta de Proceso y lo difícil que resulta realizar la implantación de un edificio de oficinas y tanto más si se disponen en varias alturas.

#### **4.6.3.1. Desarrollo práctico para realizar una implantación**

La primera operación a realizar es listar todas las actividades u operaciones unitarias que debamos realizar para cada proceso que vayamos a implantar, por ejemplo:

Actividad 1 ..... Homogeneización de materia prima

Actividad 2 ..... Horneado para obtención de clinker

Actividad 3 ..... Molienda de clinker

Etc.

Y así hasta completar todas las actividades a realizar para que partiendo de una o varias materias primas llegar al producto o productos finales.

En el caso de un edificio de oficinas, nos referiremos a las funciones o actividades a realizar en las oficinas.

Así podrían ser:

Actividad 1 ..... Dirección General

Actividad 2 ..... Dirección Técnica

Actividad 3 ..... Secretaría de Dirección General

Etc.

En el primer caso las actividades u operaciones unitarias están vinculadas por un diagrama de flujo de proceso y en el segundo caso por un organigrama funcional en el cual figuran las distintas dependencias entre personas y las funciones que desarrolla cada una.

La segunda operación a realizar consiste en establecer las relaciones de dependencia y darle a cada una su importancia. De acuerdo con lo anterior podemos establecer el siguiente cuadro:

CLASE ..... RELACIÓN

A ..... Proximidad absolutamente importante.

B ..... Proximidad especialmente importante.

C ..... Proximidad importante.

D ..... Proximidad ordinaria

E ..... Proximidad sin importancia.

X ..... Proximidad no deseada.

Dos actividades u operaciones unitarias pueden estar relacionadas por cualquiera de las clases mencionadas. Lo problemático es que estas relaciones pueden tener una componente de subjetividad importante, lo cual hace muy difícil una representación numérica. Como hemos mencionado antes, esto en parte en plantas de proceso continuo se puede obviar utilizando como parámetros para establecer la clase, el coste de transporte de los productos intermedios entre dos actividades.

La tercera operación consiste en establecer de la forma más objetiva posible, las razones por las cuales deben estar con una determinada proximidad o incluso porque deben estar separadas. Esto lo podríamos también, a efectos prácticos, representar en un cuadro como se indica a continuación para el organigrama de personal de una oficina o para una planta de proceso.

CÓDIGO ..... MOTIVO

1 ..... Contacto Personal

2 ..... Conveniencia

3 ..... Ruidos, Molestias

- 4 ..... Utilizar las mismas maquinas  
 5 ..... Utilizar los mismos muebles  
 Etc.

También podría ser en una planta de proceso lo siguiente:

CÓDIGO	MOTIVO
1	Coste de transporte muy alto
2	Coste de transporte medio
3	Coste de transporte bajo
4	Precauciones altas por proximidad
5	Se impone alejamiento

La cuarta operación consiste en hacer una interrelación entre las actividades y la clase de relaciones entre dos actividades, y todo ello lo más claro y objetivo posible señalando las motivaciones. Esto lo resolvemos realizando una matriz de relaciones como se indica en la figura siguiente.

MATRIZ DE RELACIONES

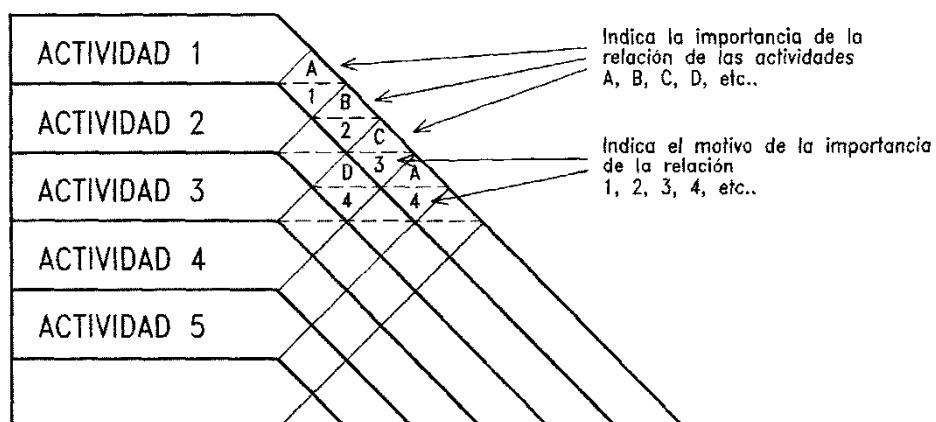


Figura 4.14

En la práctica hay que limitar el numero de actividades a menos de cincuenta, siendo el utilizar un número de treinta, ya bastante alto. Cuando hay demasiadas actividades conviene agruparlas siempre con criterios de alta proximidad para las agrupadas.

Realizado lo anterior, el siguiente paso es establecer el diagrama de relaciones entre recorridos y/o actividades, poniendo muy de manifiesto lo que significa cada clase de proximidad necesaria. Esto lo podemos hacer con rayas que unen a dos actividades. Ver figura 4.14:

RELACIÓN CLASE A = cuatro líneas

RELACIÓN CLASE B = tres líneas.

RELACIÓN CLASE C = dos líneas

RELACIÓN CLASE D = una línea

RELACIÓN CLASE E = ninguna línea

RELACIÓN CLASE X = línea de puntos

La forma práctica de hacerlo es estableciendo primero las relaciones clase A, después las relaciones clase B y así sucesivamente hasta llegar a la siguiente figura y todo ello de acuerdo con la matriz de relaciones. Ver figura 4.15.

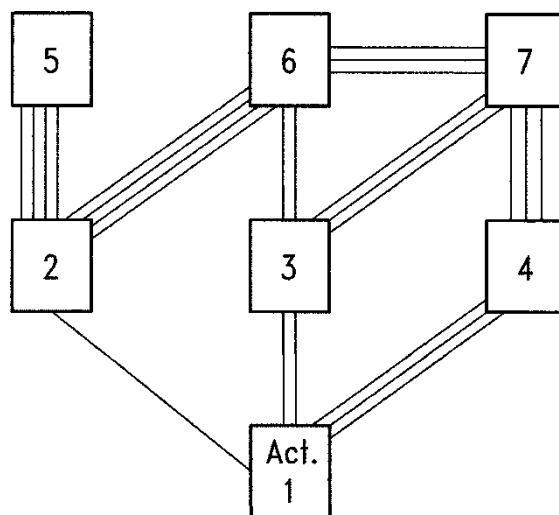


Figura 4.15

Una vez efectuado el diagrama de relaciones, considerando superficies iguales para cada actividad, también conocido como R.E.L., se trata ahora de establecer la superficie necesaria para cada actividad, con lo cual podremos dar al diagrama de relaciones un cierto carácter dimensional, tal como se muestra en la figura 4.16.

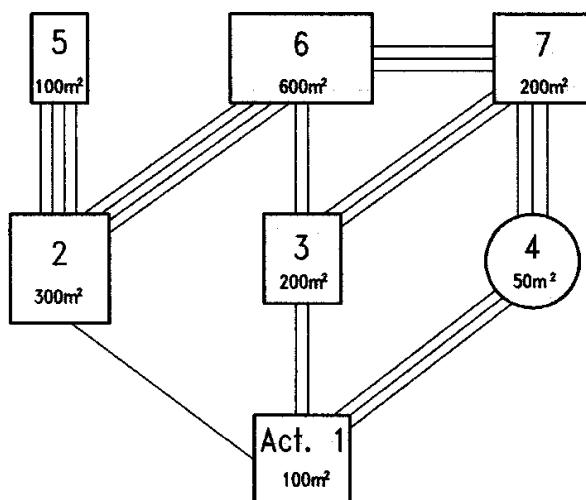


Figura 4.16

A partir de ahora hay que dejar que el número de líneas entre dos actividades actúe como un muelle de una K tanto más grande cuanto más líneas tengamos entre esas dos actividades. Si liberamos el sistema sin ningún grado de rozamiento las superficies de cada actividad tenderán a acoplarse de la forma más acorde, con las relaciones que deben tener de proximidad. Naturalmente esto implicará un reajuste manual para cada una de las variantes que se desarrolle. También hay que considerar que habrá una determinada flexibilidad en cuanto a la forma geométrica de la superficie necesaria para cada una.

En resumen, obtendremos diferentes variantes de la Implantación y será necesario realizar un análisis para poner en evidencia cuál de ellas satisface mejor los objetivos que nos habíamos impuesto en la implantación de cada área.

Lo indicado es válido para cualquiera de las áreas que tenemos que implantar y también lo es para realizar una implantación general o de conjunto. Ver figura 4.16.

#### **4.6.3.2. Evaluación de alternativas y elección de solución**

El enfoque más correcto es utilizando una tecnología multicriterio, basada en los siguientes puntos:

- a) Tenemos un conjunto de posibles alternativas de la Implantación de un Área de la Planta Industrial o del conjunto de la planta.
- b) Tenemos un conjunto de criterios o puntos de vista, con un factor de peso cada uno, con los que evaluar cada solución.

c) El objetivo es establecer una selección de las variantes, de tal manera que nos permita elegir la más satisfactoria, desde la mayoría de los criterios seleccionados.

Hay diferentes métodos, tales como:

- La jerarquía simple.
- La suma versión simple.
- La suma versión ponderada.
- El método ELECTRE.

Los criterios o puntos de vista para realizar la evaluación de las diferentes alternativas pueden ser muy variados, siempre de acuerdo con los intereses del promotor de la planta industrial. El profesor Heredia sugiere en su obra los indicados por el profesor Muther, son los siguientes:

- Posibilidad de expansión.
- Inversión necesaria.
- Utilización del espacio existente.
- Tiempo total de producción.
- Costes de manutención.
- Confort y/o seguridad del personal.
- Diversificación de equipos, personal, servicios auxiliares, etc.
- Flexibilidad de la implantación.
- Facilidad de supervisión y/o control.

En cada caso, a estos factores hay que otorgarles una ponderación que mida su importancia relativa en cada caso.

Mi punto de vista sobre los factores me inclina a añadir algún factor de tipo medioambiental y algún factor de tipo estético.

En todo caso el camino a seguir requiere las siguientes etapas:

- a) Identificar las variantes disponibles de la Implantación.
- b) Establecer los factores o criterios de valoración.
- c) Establecer la ponderación de los factores de valoración.
- d) Valorar cada implantación.

De esta forma se pueden evaluar las soluciones con una mayor objetividad al menos aparente. Probablemente dos personas que realicen una evaluación pueden llegar a soluciones diferentes.

Recomendamos un método multicriterio que utilice factores de evaluación ponderados, como el cuadro de análisis que se incluye a continuación. Figura 4.17.

		EVALUACIÓN IMPLANTACIONES					OBSERVACIONES	
CRITERIOS DE VALORACIÓN	PONDERACIÓN P	OBSERVACIONES						
		A	B	C	D	E		
FACTOR 1 VALORACIÓN V	1 a 10	V	VxP					
FACTOR 2	1 a 10							
FACTOR N								
SUMA PONDERADA								

Figura 4.17

#### 4.7. LA IMPLANTACIÓN GENERAL DE LA PLANTA INDUSTRIAL

Para realizar la implantación general de una planta industrial, tenemos los siguientes datos hasta el momento:

- Implantación teórica de las Áreas de Proceso de la Planta.
- Implantación teórica de los Servicios Auxiliares.
- Implantación teórica de los Servicios de Personal.
- Implantación teórica de los Servicios Generales de la Factoría.

Esto realmente significa una serie de superficies ordenadas en cada área, de tal forma que esta ordenación individualizada satisface las necesidades y, sobre todo, las relaciones de proximidad que debe haber entre las diferentes superficies de cada área.

Por otro lado, y también como dato, estará el terreno, tal como se define en el capítulo 5 siguiente, es decir:

- La poligonal del terreno y cotas.
- Todos los accesos de transportes y servicios en relación con el exterior de la parcela.

Para tener los últimos datos necesarios hay que definir el cómo realizar los transportes dentro del terreno (entradas y salidas), así como definir los aparcamientos

de vehículos ligeros de los empleados y visitantes, como los vehículos de carga. Los accesos de carretera, y sobre todo los de ferrocarril, suelen condicionar la implantación general. Un sistema de ferrocarril condicionado por la situación de la estación *más* próxima puede condicionar la implantación general de una factoría, precisamente por la rigidez que imponen los trazados de las vías y las pendientes límites. Las carreteras también imponen rigidez, pero en todo caso es menor que la del ferrocarril, ya que en estos casos la rigidez la suelen imponer los puntos a veces fijos de entrada y salida a la parcela.

En cuanto a los aparcamientos de turismos, se deben habilitar superficies cuyas plazas de aparcamiento ocuparán 12,5 metros cuadrados, más una parte proporcional de pasillos y zonas de maniobra de 10/15% más.

En cuanto a los aparcamientos de camiones, hay que considerar muelles de descarga y muelles de carga, también al menos de 60 metros cuadrados por camión posicionado, más las superficies de maniobra que pueden representar, en este caso, un 40% más.

A veces las entradas de materias primas y salidas de productos acabados de las zonas de fabricación se realizan por puentes-grúa autoportantes, lo que requiere en cada caso definir según los sistemas adoptados, las superficies necesarias.

En términos generales, para realizar una implantación general de una planta industrial hay que proceder de la misma manera que en el caso de realizar una implantación de un área de proceso, salvo que en este caso, en lugar de trabajar con máquinas o sistemas que requieren espacios interrelacionados, nos encontramos con áreas específicas también interrelacionadas.

Sería también en este caso interesante utilizar como modelo una planta de referencia, aunque por la variedad de la geometría de los terrenos no sería fácil encontrar situaciones similares.

De todas las formas, los pasos aconsejables para realizar una Implantación General serían los que se indican a continuación, teniendo en cuenta, siempre, las Ordenanzas Municipales o las propias del Polígono Industrial donde se instala la factoría.

1. Localizar en la parcela la posición de los trazados ferroviarios posibles, así como las servidumbres que imponen en superficies. Realizar lo mismo para accesos por carretera, especialmente los puntos fijos, que nos pueden marcar los trazados.

2. Localizar en la parcela las zonas más adecuadas para las áreas de proceso, teniendo especial cuidado con las entradas de materias primas y las salidas de productos acabados.
3. En base a las relaciones de proximidad, coste de transporte en el caso de servicios auxiliares y coste del tiempo empleado en servicios de personal, se puede aplicar el método Muther para establecer en la parcela la situación más adecuada de los servicios auxiliares y de los servicios de personal. Los servicios auxiliares también deben ser implantados con criterios de proximidad.
4. Establecer la situación de aparcamientos de vehículos ligeros y zonas de maniobras de camiones y aparcamientos.
5. Realizar tres o cuatro variantes de implantación general y analizarlas con un método multicriterio.
6. Ajustar la implantación teórica de las diferentes áreas al terreno (planimetría y altimetria) a los transportes interiores y a las circulaciones de personal.
7. Realizar una revisión final con al menos dos variantes en base a los criterios de implantación que nos han servido para ponderar el análisis multicriterio.

En el Anexo 3 se describe cómo se realizó una implantación general por el autor.

## **PREGUNTAS DE AUTOEVALUACIÓN**

### **Tema cuarto**

1. ¿Qué interés puede tener para un licenciatante de proceso el proporcionar a un posible comprador de una licencia una implantación recomendada para la planta?
2. ¿Qué interés puede tener para una ingeniería el proporcionar a un cliente en fase de oferta una implantación tipo de la planta cuya ingeniería está ofertando?
3. ¿Qué interés puede tener para un fabricante de bienes de equipo o de unidades paquete, el recomendar una implantación a un posible cliente?
4. Razonar el por qué una implantación de una planta industrial puede tener infinitas soluciones.
5. Indicar los diferentes objetivos que pueden existir en la ampliación de una planta industrial.
6. ¿Qué importancia tiene el minimizar una inversión en la implantación de una planta industrial? Indicar cómo cuantificaría esta importancia.
7. ¿Cuales pueden ser las razones para establecer una implantación en dos o más plantas? Indicar un ejemplo.
8. ¿Qué ventajas puede aportar la unificación de equipos, sistemas y edificaciones en una planta industrial? Indicar un ejemplo.
9. ¿Qué razones puede tener un proyectista para utilizar energía eléctrica en diferentes tensiones en una planta industrial? Indicar un ejemplo.
10. ¿Qué razones puede tener un proyectista para utilizar propano en lugar de gas natural en una planta industrial?
11. ¿Qué le parece la idea de diseñar los servicios de personal dentro de un consenso?  
¿Quiénes deberían participar?
12. Justificar la existencia de implantaciones de producto estático, junto con implantaciones por secciones. Indicar un ejemplo.
13. ¿Cuál podrían ser los principales inconvenientes de una implantación en línea?  
Enumerar estos inconvenientes usando ejemplos concretos.

14. Establecer los criterios a seguir para la formación del personal de operación, en el caso de implantaciones en línea, por secciones y por producto estático. Razonar las respuestas.
15. Justificar por qué hay que hacer implantaciones teóricas de las diferentes áreas, antes de pasarlas a definitivas con las correcciones que procedan ¿Cuál será la razón de los cambios?
16. ¿Qué ventajas puede tener el comprar una unidad paquete (p. e. unidad de desalación por ósmosis inversa) para realizar una operación unitaria (desalación) frente a comprar varios equipos que hagan la misma operación?
17. Razonar por qué a veces resulta más difícil diseñar la implantación de un edificio de oficinas dentro de una factoría que cualquier otra dependencia de la fábrica, incluso un área de proceso.
18. Compare el realizar una implantación utilizando una planta de referencia y utilizando un método tal como el S.L.P. Indicar en qué casos sería mejor utilizar uno u otro método.
19. ¿Aplicaría el método S.L.P. en el diseño de una implantación de una planta de ciclo combinado de gas natural? Razonar la respuesta.
20. ¿Cuál es el criterio para enumerar los diferentes puntos de vista necesarios para evaluar una implantación? ¿Cuál sería la forma más correcta para establecer la ponderación de cada uno de los factores?

## Tema 5

### El terreno para instalar la industria

#### **Presentación**

Este tema quinto trata sobre el terreno donde se instalará la Planta Industrial. Primero se hace mención de cómo se realiza la localización del terreno, qué significa el gran área que es más adecuada para la instalación de la Planta, en base a consideraciones de Naturaleza de la Industria, situación de Materias Primas y situación de Mercados para colocar los productos fabricados. Se consideran también los grandes sistemas de transportes disponibles, así como la mano de obra de la zona, en cantidad y, sobre todo en calidad, el tratamiento de las cuestiones ecológico-ambientales por parte de las autoridades. También se estudian consideraciones de tipo político/económico como los regímenes de subvenciones y consideraciones fiscales. Se hace mención también a las energías disponibles así como a la calidad de los suelos. Otra consideración importante es el estudio de la actitud de los habitantes de la zona al establecimiento de la industria en cuestión.

Elegida una localización en función de los factores indicados, se estudian las alternativas a considerar de emplazamientos concretos para la Planta Industrial, considerando, sobre todo, la configuración geométrica de los terrenos disponibles, las características concretas del suelo a efectos principalmente del diseño de las cimentaciones, así como los accesos e infraestructuras disponibles.

#### **Objetivos**

- Establecer una metodología para el análisis de alternativas de elección de localizaciones y emplazamiento de terrenos.
- Análisis de los factores principales que pueden condicionar una localización de una Planta Industrial.
- Análisis de los factores principales que pueden condicionar un emplazamiento.
- Señalar la importancia de las infraestructuras en los costes de instalación de una Planta Industrial.

## **5.1. GENERALIDADES**

El otro gran dato para realizar una Implantación es el terreno elegido para asentar la Planta Industrial.

Se nos plantean inicialmente dos problemas:

- La localización de la Industria (zona o gran área).
- El emplazamiento de la Industria dentro de la localización elegida (el lugar concreto).

La localización de una Industria, es decir, la elección de un área adecuada para la misma se realiza en función de una serie de consideraciones de tipo global, moviéndonos en aspectos a veces poco cuantificables. En general estamos ante un problema de la selección de una zona dentro de un área incluso superior al municipio, que posteriormente debemos estrechar hasta llegar a un terreno concreto que a veces incluso debemos desechar por su inviabilidad de uso (emplazamiento no adecuado).

Las consideraciones o elementos que debemos tener en cuenta se indican en los siguientes apartados:

- Naturaleza de la Industria y situación en la Comunidad.
- Situación de las materias primas y/o productos a emplear en la industria, incluso como productos semielaborados.
- Situación de los mercados de los productos a fabricar.
- Sistemas de transporte y accesos adecuados a las materias primas y a los productos fabricados.
- Consideraciones sobre mano de obra a emplear.
- Consideraciones de tipo ecológico medioambiental.
- Consideraciones políticas, régimen de subvenciones y fiscales.
- Consideraciones sobre energías disponibles y su coste.
- Consideraciones acerca de los terrenos.
- Consideraciones acerca de la aceptación y/o rechazo de la industria por los habitantes de la zona.

Todo lo anterior condiciona de una forma decisiva la elección de un área para situar la industria como veremos a continuación.

## **5.2. LA LOCALIZACIÓN DE LA INDUSTRIA**

Será necesario analizar los aspectos mencionados, es decir:

### **5.2.1. Naturaleza de la Industria**

Este apartado lo debemos contemplar sobre la base del valor añadido que la Planta Industrial dará a las materias primas después de su transformación en la Planta Industrial. Las industrias que añaden poco valor dependen mucho de la localización de las materias primas y de los mercados de los productos acabados. Un ejemplo típico pueden ser las fábricas de cemento o incluso los mataderos generales frigoríficos. Esto quiere decir que el área de influencia de la planta industrial es pequeña (del orden de 100 km de radio desde el lugar donde está localizada, o incluso menos).

Otra forma de ver este aspecto se refiere al grado de peligrosidad de la planta, que puede condicionar a áreas de posible ubicación, en determinadas localizaciones (áreas peligrosas en puertos o áreas similares).

### **5.2.2. Localización de materias primas a emplear**

Se refiere este apartado fundamentalmente a costes de transporte. La cuestión es si la Planta Industrial puede soportar los costes sistemáticos de los transportes de materias primas o los costes de llevar las energías a los lugares de producción. La primera cuestión a dilucidar es conocer si existe un sistema de transporte capaz de alimentar de materias primas y/o energía a una determinada planta.

Como ejemplo podemos utilizar una planta de cemento que debe situarse lo más próxima posible a las canteras de caliza y arcilla para disminuir los costes de transporte de las materias primas. Otro ejemplo puede ser el de una refinería de petróleo, que esté situada a 400 km de un puerto de recepción de crudo. Esto en algún caso podría hacer inviable la refinería por los altos costes de transporte.

### **5.2.3. Localización de los mercados a suministrar**

El caso es similar a lo que ocurre con las materias primas. El valor añadido que la Planta Industrial da a sus productos puede no permitir costes de transporte a mercados lejanos. En el caso de los automóviles parece que los radios de influencia se pueden medir en millares de km, cosa que no es posible, por ejemplo, en fábricas de cemento o de yeso, salvo en circunstancias excepcionales como ya ha ocurrido en época de alta demanda.

En este caso los costes de transporte son decisivos y en muchos casos, como en la industria textil o farmacéutica, no actúa este factor como relevante, ya que los pesos y/o volúmenes a transportar tienen un alto valor añadido.

#### **5.2.4. Sistemas de transporte adecuados**

Es un factor fundamental ya que el establecimiento de un sistema de transporte a la medida resulta extremadamente caro, que lo puede hacer inviable. El criterio es aprovechar infraestructuras existentes o en desarrollo. Esto es muy aplicable y adquiere especial relevancia en el caso de puertos marítimos. Puede ser determinante a la hora de elegir un área. También puede ser importante en el caso de transporte de energía (grandes líneas eléctricas, oleoductos, gasoductos, etc.).

#### **5.2.5. Consideraciones sobre mano de obra a emplear**

Este apartado está en íntima dependencia con la cualificación del personal necesario para la Planta Industrial. Esto puede obligar a instalar industrias cerca de núcleos urbanos donde haya o pueda haber personal de alta cualificación (Centros de Formación Profesional, incluso universidades). Es un caso típico de Industrias con un alto grado de valor añadido en sus productos. Los centros de formación deberán estar en un radio no superior a los 50 km.

#### **5.2.6. Consideraciones Ecológicas-Ambientales**

El factor medioambiental es muy relevante y adquiere cada vez mayor importancia. Hay que distinguir entre lo que significan realmente las emisiones (sólidas, líquidas, gaseosas) de las industrias y las perturbaciones que causan o puedan causar. En muchos casos hay que realizar Estudios de Impacto Ambiental y medidas correctoras acompañados de campañas de mentalización para los habitantes de una zona, hasta concienciarlos de que realmente las emisiones corregidas no provocan daños de ningún tipo. La mayor parte de los problemas se derivan de la dificultad de medir y cuantificar las consecuencias. Por ejemplo, ¿sobrevivirán las crías de cigüeñas negras si un gasoducto se construye a 500 m de su nido?

El aspecto político adquiere a veces una gran importancia, que en la mayor parte de los casos no está justificada desde el punto de vista técnico.

### **5.2.7. Consideraciones políticas, régimen de subvenciones y aspectos fiscales**

A veces por razón de incrementar el PIB de una determinada zona, las autoridades de la misma establecen una serie de ventajas para las industrias que deseen instalarse en su territorio, dando lugar a unas facilidades muy significativas.

Estas ventajas normalmente vienen acompañadas de disminuciones necesarias en la burocracia, y suelen también venir acompañadas de subvenciones que en muchos casos han llegado a ser de hasta el 50% de la inversión en activos fijos, siendo normal las subvenciones del 30%. En estos casos hay que considerar con mucha preocupación el nivel de la subvención, el momento de recibirla y sobre todo el impacto que puede tener en los análisis de sensibilidad de rentabilidad en función de la inversión necesaria. No se debe nunca establecer una industria en una determinada localización basados únicamente o principalmente en esta circunstancia.

También puede haber ventajas de tipo fiscal con carácter temporal o permanente, que debemos considerar en los diferentes supuestos.

### **5.2.8. Consideraciones sobre energías disponibles**

La casuística sobre la necesidad de las mismas y su intercambiabilidad es muy amplia. Cada empresa tiene unas necesidades energéticas y debe optimizar su coste.

Este apartado puede tener una gran importancia especialmente en zonas y países poco desarrollados.

### **5.2.9. Consideraciones acerca de la calidad de los terrenos**

Se trata de consideraciones geográficas, morfológicas y/o geológicas que puedan inducir a sobrecostes de instalación extraordinarios. Por ejemplo en este área hay que cimentar la planta sobre pilotes, o hay que elevar la cota de la planta para evitar inundaciones, hacer más desmontes y terraplenes enormes, etc.

También revisten una gran importancia los fenómenos sísmicos, que se puedan prever que se produzcan.

### **5.2.10. Consideraciones acerca de la actitud de los habitantes sobre el establecimiento de la planta en su zona**

Es un concepto que, aunque no nuevo, ahora tiene una gran importancia. Significa la simpatía con que los habitantes de una zona ven la instalación de una nueva industria en la zona o localidad. Esto no se puede medir, pero si los habitantes rechazan la

instalación de la Planta, ésta no tendrá un buen futuro. Este concepto se utiliza más para rechazar localizaciones que para elegirlas.

### **5.3. EL EMPLEO ZAMIENTO DE LA INDUSTRIA DENTRO DE LA LOCALIZACIÓN ELEGIDA**

Ahora nos referimos a un terreno concreto seleccionado para instalar la industria. Este terreno estará dentro de la localización elegida para la planta industrial de acuerdo con los criterios expuestos en el punto anterior. Vamos a analizar los diferentes aspectos a considerar.

#### **5.3.1. Forma y dimensiones del terreno**

La forma del terreno más adecuada para instalar una industria, salvo circunstancias excepcionales, es la rectangular, o lo más parecido, disponible a esta figura geométrica. Normalmente, como toda la geometría de los edificios, serán hechos sobre la base de figuras rectangulares, será esta figura la que tenga carácter predominante en la elección de un terreno concreto.

En cuanto a las dimensiones necesarias (en términos prácticos superficie necesaria del terreno) entran en juego otros factores que debemos tener en cuenta, a saber:

- Implantaciones de las diferentes Áreas de la Planta Industrial, con sus superficies respectivas.
- Previsiones de ampliación de las diferentes áreas
- Vías interiores de circulación de vehículos, aparcamientos, zonas de atraque y maniobra, etc.
- Ordenanzas Municipales
- Otras consideraciones Ecológico-Ambientales.

Salvo que estemos instalando la industria en un polígono o parque industrial, con una oferta concreta y definida de terreno e infraestructuras también definidas, especialmente accesos, tendremos que procurarnos estas infraestructuras en la localización elegida. Recordemos que instalar industrias que requieran más de 10.000 metros cuadrados en un Polígono Industrial puede resultar antieconómico por las infraestructuras que desaprovechamos, pero que debemos pagar con el terreno. Así pues, las diferentes Áreas de la Planta Industrial que podemos organizar inicialmente en una implantación preliminar nos dan idea de la superficie necesaria de terreno al cual

hay que añadir las previsiones de ampliación de cada área de la Planta. En cada caso hay que considerar cuales van a ser las necesidades de ampliación en un futuro de acuerdo con las previsiones de crecimiento del mercado. En ningún caso se debe proyectar una Planta sin considerar al menos un 50% de ampliación, y especialmente en las áreas productivas, en las cuales tendríamos la mayor incidencia en cuanto al terreno necesario.

Debemos ser generosos a la hora de prever ampliaciones, especialmente cuando la producción de la Planta es de alto valor añadido, con poca incidencia del coste del transporte en el producto final.

Otro factor importante es el de las Ordenanzas Municipales o las específicas del Polígono Industrial. Todo terreno para uso industrial estará situado en un Municipio donde sean aplicables Ordenanzas dictadas por el Municipio que condicionarán al menos los siguientes aspectos:

- Retranquees de cerramientos.
- Retranquees de fachadas de edificios y/o equipos.
- Retranquees de edificaciones en precario.
- Superficies construidas en la parcela (metros cuadrados construidos en metros cuadrados de parcela o en % de la superficie de la parcela)
- Volúmenes construidos en la parcela (metros cúbicos construidos en metros cuadrados de parcela).
- Alturas máximas de edificaciones o equipos (normalmente dadas hasta la línea de comisa o arranque de las formas de cubierta).
- Otros condicionantes por situación junto a autopistas, autovías, líneas de ferrocarril, ríos, etc.
- Número mínimo de plazas de aparcamiento en el interior de la parcela.

Todo lo anterior está imponiendo limitaciones que normalmente llevarán a elevar la superficie necesaria para construir la Planta Industrial.

También puede haber otras consideraciones ecológico-ambientales que pueden influir, tales como el peligro de inundaciones, por ejemplo por la existencia de ramblas, que puede obligar a aumentos significativos de superficie. También el hecho de que haya plantaciones que las autoridades quieran proteger, pueden tener una gran influencia.

Las dimensiones de un terreno a efectos de realizar la implantación de una industria quedarán definidas por su Planimetría y por su Altimetría. La Planimetría de un terreno es su proyección en planta. Se define por la poligonal correspondiente a cada una de las líneas rectas que necesitamos para cerrar el terreno. Es normal el referir todos los vértices de la poligonal a un origen de coordenadas X e Y, que se establece de tal forma que todas las coordenadas sean positivas. También se puede establecer que el origen de coordenadas X e Y sea un vértice la poligonal. Ver figura 5.1.

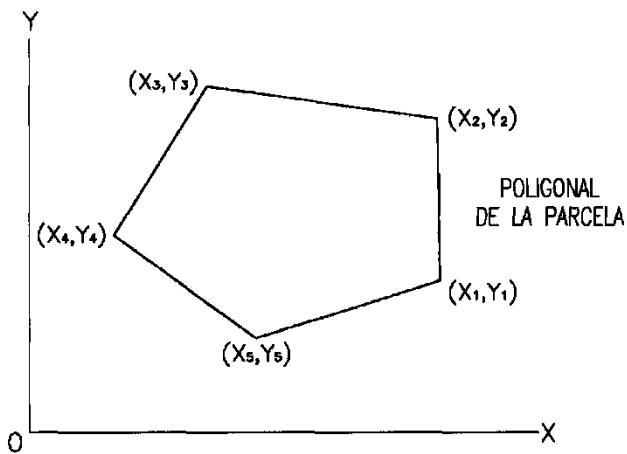


Figura 5.1

La Altimetría (posición en altura de todos los puntos del terreno) quedaría definida por las cotas correspondientes (las Z de un sistema tridimensional) o bien por las líneas de nivel que unen puntos de igual cota. Los intervalos en altura que separan dos curvas de nivel hay que determinarlos en función de las pendientes de los terrenos. Así, en un terreno muy plano las curvas de nivel deberán ser a estos efectos de 25 en 25 centímetros, y en un terreno más accidentado las curvas de nivel deberán estar hechas con mayor intervalo, por ejemplo de 50 en 50 centímetros o de metro en metro.

Al final, lo que tenemos para definir la geometría de un terreno es una poligonal, con todos sus vértices referidos a un mismo origen de coordenadas (tenemos la X y la Y de cada vértice) y unas curvas de nivel de una separación definida referidas también a la cota (la Z) del origen de coordenadas, que se suele tomar como 100, para evitar también cifras negativas. En algún caso también es necesario ligar la cota del origen de coordenadas a algún punto geodésico. De esta forma cada punto del interior de la poligonal tendrá una X, una Y, y una Z.

Todo lo anterior nos servirá para situar en planta y alzado las diversas Áreas de la Planta Industrial, así como las conexiones entre ellas.

### **5.3.2. Características del suelo**

A los efectos de proyectar y construir una Planta Industrial, el interés que tiene el suelo es conocer su capacidad portante a diferentes profundidades. Los suelos (los terrenos) suelen tener una capa vegetal con predominio en su composición de materia orgánica (normalmente de hasta 50 centímetros de profundidad), que no tiene prácticamente capacidad portante, por lo que es necesario eliminarla. Una vez eliminada esta capa vegetal, nos interesa conocer la capacidad portante del suelo a la profundidad a que vayamos a poner las cimentaciones de las edificaciones de la Planta Industrial o de alguna máquina o equipo que requiera de una cimentación especial.

Por capacidad portante de un suelo entendemos la capacidad de este suelo de soportar cargas que conlleven deformaciones admisibles. La capacidad portante de un suelo, como veremos más adelante, condiciona el tipo de cimentación y el sistema estructural a emplear en las edificaciones.

### **5.3.3. Climatología**

Hay otras consideraciones que pueden tener una gran influencia en el establecimiento de la Planta industrial en una localización, como sucede en el caso de que haya posibilidad de inundaciones, factor de gran importancia en industrias que se instalen en el sureste español. Es muy difícil conocer la intensidad de ocupación de las ramblas existentes porque no se tienen datos estadísticos fiables. Hay que considerar que elevar la cota de suelo acabado de las edificaciones de una planta industrial puede tener un alto sobrecoste.

Otros factores climatológicos importantes pueden ser:

- Posibilidad de atmósferas muy salinas que den lugar a problemas de corrosión importantes.
- Posibilidad de heladas de gran intensidad que puedan paralizar la circulación de fluidos.
- Posibilidad de altas temperaturas que puedan dificultar y encarecer el funcionamiento de sistemas de condensación.
- Temperaturas secas y húmedas que puedan desfavorecer y encarecer sistemas de refrigeración.
- También puede haber otros factores, como por ejemplo el viento dominante, que incluso puede condicionar una implantación por el incremento del riesgo de

incendios, como es el caso de una planta de papel que utiliza como materia prima papel reciclado o incluso por la propagación de olores molestos.

— Los fenómenos sísmicos también se podrían incluir en este apartado.

#### **5.3.4. Otras consideraciones**

Debemos considerar también en un terreno los siguientes aspectos:

- Accesos por carretera o ferrocarril.
- Accesos portuarios.
- Acceso a infraestructuras existentes de otro tipo.

##### **5.3.4.1. Accesos por carretera y ferrocarril**

Los accesos por carretera son más frecuentes que los accesos por ferrocarril. Podemos decir que siempre habrá un acceso conectado a una carretera.

Si estamos considerando una parcela, dentro de un Polígono Industrial, normalmente estaremos forzados a realizar los accesos a la parcela siguiendo las normas adoptadas en el diseño del Polígono (anchos de calles y aceras, radios de curvatura, tipos de pavimentos, etc.). Si por el contrario estamos en un terreno fuera de infraestructuras comunes, la forma del acceso habrá que realizarla siguiendo las normas que fijen las autoridades competentes de la carretera a la cual accedamos (carretera local, comarcal, provincial, autonómica o nacional). Normalmente si el acceso es a una autovía o autopista el enlace habrá que hacerlo a través de una vía de servicio, que será la que conecte a través de un tramo de aceleración con la autovía o autopista. En todo caso la libertad del proyectista, en un caso de estos, está muy condicionada a lo que indiquen las autoridades con competencia en la carretera a la que accedamos. En estos casos es obligado la solicitud de permisos y el seguimiento de las condiciones que impongan los citados permisos en cuanto a anchos de vía, radios de curvatura, materiales, espesores de firme, etc.

En cuanto a los accesos por ferrocarril, cualquier conexión ferroviaria que hagamos tiene que ser hecha a través de la estación más próxima. Dependiendo de la distancia a la estación, tendremos un mayor coste, que solo podríamos justificar si el movimiento de mercancías es muy alto. Las condiciones técnicas de cualquier enlace ferroviario las fijara, la compañía que proporciona la infraestructura ferroviaria general que impondrá las normas a seguir, que en general serán muy rígidas en cuanto a pendiente, radios de curvatura, etc. de las vías.

En general diremos que cualquier enlace ferroviario dará una gran rigidez al sistema, condicionando de una manera muy fuerte la implantación general de la planta.

En la figura podemos ver un ejemplo de conexión ferroviaria.

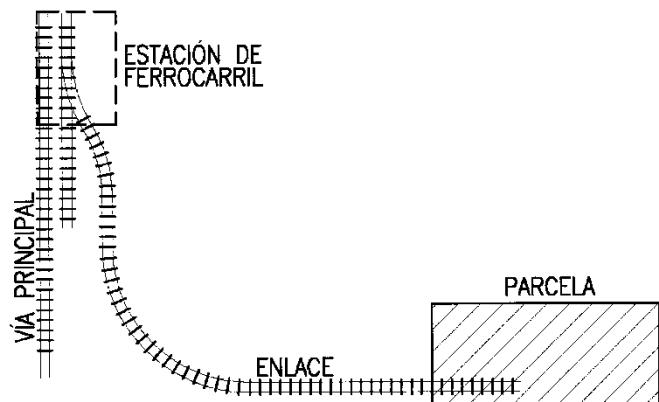


Figura 5.2

#### 5.3.4.2. Accesos portuarios

No vamos a entrar en este tema aunque diremos que en general también conllevan accesos ferroviarios, lo cual además de la rigidez que impone el ferrocarril hay que añadir la propia del sistema portuario (grúas, etc.).

En general tendremos muchas mayores facilidades cuando la conexión Barco-Planta Industrial se haga por tubería, como sucede en el caso de los combustibles líquidos y/o gases, como sucede en el caso del gas natural. En estos casos el diseño del puerto o de una zona portuaria se suele hacer para satisfacer de una forma exclusiva las necesidades de la planta a la que sirve.

Un caso singular es el de las plantas de almacenamiento y regasificación de gas natural, el cual se recibe y se almacena a temperaturas muy bajas (alrededor de -167 °C) lo cual implica la gran flexibilidad que deben tener los sistemas de tuberías para soportar las dilataciones y contracciones que se les imponen por las variaciones de temperatura.

Igual que se indicaba antes, el proyectista no tiene prácticamente libertad a la hora de realizar la implantación de conjunto, ya que las limitaciones del terreno (casi siempre escaso) y los sistemas de transporte, imponen muchos condicionantes.

### **5.3.4.3. Acceso a infraestructuras existentes**

En el supuesto de que la industria la instaláramos en un Polígono Industrial, lo normal es que el propio Polígono proporcione una serie de infraestructuras que la industria necesita tales como:

- Energía eléctrica.
- Agua potable.
- Gas natural.
- Saneamiento y depuración de aguas.

En este caso debemos considerar lo siguiente:

a) Energía eléctrica. Según el consumo previsto para la industria o, dicho de otro modo, según la potencia instalada (en alumbrado y fuerza), el suministro eléctrico, por razones fundamentalmente económicas y también funcionales, se puede hacer en media tensión (15 kV o 20 kV) o en baja tensión (380 V).

Para consumos muy bajos, las acometidas son en baja tensión (380 V). La acometida del polígono se lleva a un cuadro general de la industria para la alimentación del alumbrado y la fuerza, separadamente. En todo caso estas configuraciones de interconexión eléctrica deben hacerse siguiendo la normativa que impone la compañía suministradora. Los límites de potencia en tomas de baja tensión los fija también dicha compañía.

En el caso de suministro en media tensión (15 kV o 20 kV), el polígono normalmente tiene una red de media tensión en la cual se puede conectar en algún poste, siempre señalado por la compañía. Deberemos llevar una línea normalmente aérea hasta los límites de la parcela y en el interior instalar un centro de transformación propio, con salidas en baja tensión para alumbrado y fuerza, salvo que sea también necesario alimentar algún motor en media tensión (6 kV). A veces para parcelas de superficie superior a 5.000 metros cuadrados es necesario instalar más de un centro de transformación. En todos los aspectos conviene seguir la normativa de la compañía suministradora.

En el caso de una industria que se instale en suelo industrial no perteneciente a un Polígono Industrial es la compañía suministradora la que debe señalar el punto de acometida, según la tensión de suministro que decida la compañía eléctrica en función de la potencia instalada. Normalmente las tensiones de suministro serán de 15 kV o más, recientemente de 20 kV, si es en media tensión o de 66 kV o incluso 136 kV si es en alta tensión. En todo caso se deben seguir las normas de la compañía eléctrica suministradora.

b) Agua potable. Si nos encontramos en un Polígono Industrial, existirá en el polígono una red de agua y unos puntos de acometida que estarán en la fachada de la parcela y debajo de una arqueta. Normalmente las ordenanzas del Polígono impondrán una forma de acometida con sistema de medida del consumo a efectos de unificar.

Si por el contrario, no estamos en un Polígono Industrial, tendremos que planteamos la posibilidad de una toma en río o en pozo, o bien llevar el agua a la planta desde una red existente. Llamamos la atención sobre la dificultad de tomar agua de pozos propios o de ríos, por la necesidad de obtener los permisos necesarios de las confederaciones hidrográficas, además de que se pueden establecer limitaciones en el suministro. En el caso de pozos y/o sondeos profundos de más de 100 metros de profundidad, corremos el riesgo de la aparición de aguas muy salinas y no potables que habría que tratar para su uso, lo cual encarecería mucho los costes y en algunos casos haría inviable el sistema.

c) Gas Natural. Es bastante frecuente que los polígonos industriales dispongan de una red de gas natural. Normalmente se dispondrá de gas a una presión de 4 bares, inferior a la presión necesaria para establecer una cogeneración que es normalmente de 16 bares. Las acometidas a las industrias se hacen a través de Estaciones de Regulación y Medida (E.R.M.). El usuario deberá seguir, tanto en la acometida como en la red de distribución, las normas de la Compañía suministradora de gas natural. En el caso de industrias fuera de polígonos industriales, el tratamiento es el mismo.

d) Saneamiento y depuración de aguas. En el caso de instalación de una industria en un polígono industrial, este polígono normalmente tendrá una red de aguas pluviales y una red de aguas fecales.

La red de aguas pluviales recibirá todas las aguas de lluvia de las calles y aceras del polígono, así como las aguas pluviales del interior de las parcelas. Estas aguas no será necesario depurarlas y, normalmente, con los permisos necesarios se podrán verter a cauces naturales. La red de aguas fecales recibirá las aguas de los servicios de personal de las factorías del polígono y además las aguas residuales de las plantas industriales previa depuración dentro de la parcela de la industria respectiva. La depuradora del polígono establece normalmente unos límites de vertido para cada industria, del tal modo que la depuradora propia de cada industria debe cumplir estos límites antes del vertido a la red. Los vertidos de metales pesados pueden romper el tratamiento biológico de una depuradora común o incluso una de carácter municipal. Ver figura 5.3.

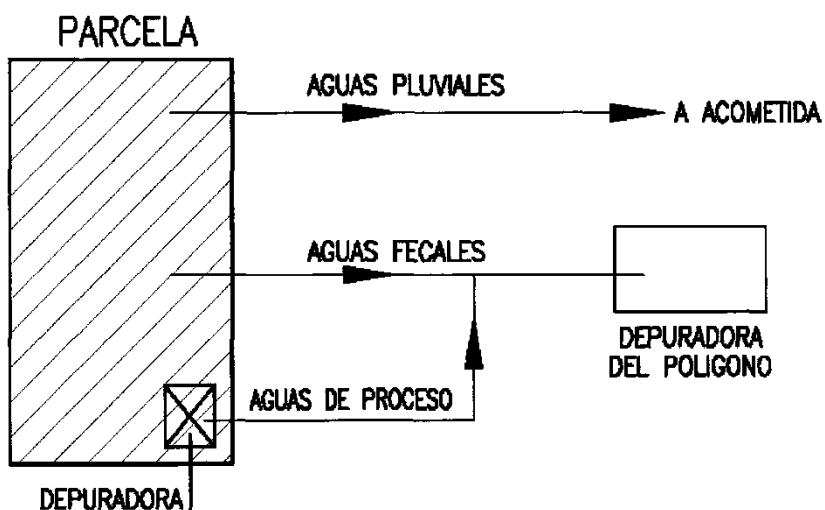


Figura 5.3

En la acera de la parcela enfrente de cada fachada se suelen encontrar las arquetas de vertido de aguas pluviales y las de aguas residuales, en un sistema separativo que es el habitual.

En industrias fuera de polígonos, cada industria tiene que construir su red de pluviales, su red de fecales con una depuradora simple de fecales, y, probablemente, tenga que establecer una depuradora de aguas residuales de proceso. Todas confluirán en un punto único de vértigo cumpliendo en su composición las condiciones que imponga la correspondiente Confederación Hidrográfica (Comisaría de Aguas).

## **PREGUNTAS DE AUTOEVALUACIÓN**

### **Tema quinto**

1. En relación con las áreas de influencia de una fábrica de ladrillos o de una fábrica de yeso, indicar por qué tienen que ser áreas muy restringidas. Comentar el caso de una fábrica de azulejos dedicada a la exportación.
2. Establecer la importancia de la localización de una fábrica de coches y de una fábrica de ladrillos. Establezca una correlación con relación a los respectivos precios unitarios de venta de los dos productos.
3. ¿Qué tipo de industrias resulta imprescindible localizar cerca de núcleos urbanos importantes? Dar razones para ello e indique algún ejemplo que conozca.
4. ¿Qué influencia puede tener en la rentabilidad de una Planta Industrial el coste de los terrenos donde se asienta? ¿Cómo realizaría la evaluación de este factor de coste en el coste del producto fabricado?
5. La calidad de los terrenos (capacidad portante), a efectos de las cimentaciones, puede condicionar la instalación de una Planta Industrial. Indicar las razones e indique un ejemplo. ¿Cómo realizaría el análisis de sensibilidad correspondiente?
6. Indicar casos en los cuales las subvenciones de carácter estatal, autonómico o provincial pueden determinar la Instalación de una Planta Industrial.
7. En el caso de tener diferentes terrenos para emplazar una Planta Industrial, ¿cómo realizaría la elección del mejor terreno para sus intereses?
8. ¿Cómo determinaría su Planta Industrial si le interesara establecerla en un Polígono Industrial o en una zona sin infraestructura? ¿Qué elementos de juicio tendría que considerar para tomar una decisión correcta?
9. Indicar en qué supuestos podrían las consideraciones Ecológico- Ambientales impedir la instalación de una Planta Industrial o una Instalación Industrial. Indicar ejemplos.
10. En qué supuestos sería interesante disponer de un terreno con una pendiente superior al 10%. Indicar algún ejemplo.
11. Disponemos de un terreno de 200.000 metros cuadrados para instalar una gran Planta Industrial. El terreno es completamente plano, es decir, no tiene pendiente en ninguna dirección. ¿A qué nos puede condicionar esta circunstancia?
12. ¿Qué tipo de estudios deberíamos realizar si pretendemos implantar una Planta Industrial en una zona presuntamente inundable?

13. Indique algún caso de industrias que se deben implantar en zonas portuarias. Dar las razones.
14. Una industria en una primera instalación necesita, cumpliendo las Ordenanzas de aplicación,  $x$  metros cuadrados de terreno. Razonar en qué se basaría para comprar más metros cuadrados. Dar todas las razones que deberían tener influencia.
15. Razonar con detalle sobre la influencia de la disponibilidad y los costes energéticos en la elección de una localización. ¿Cómo analizaría dicha influencia?

## Tema 6

### Diseño de edificios industriales

#### **Presentación**

Este tema trata sobre el diseño y los tipos de edificios industriales que hay que realizar en una Planta Industrial partiendo de las Implantaciones de los equipos y sistemas de fabricación, de los servicios auxiliares, de los servicios de personal y de los servicios generales, todos ellos definidos anteriormente. El punto de partida de todos los casos son las implantaciones parciales de las diferentes áreas y la implantación general o de conjunto (lay-out parciales y de conjunto).

Se trata tanto de definir los edificios en las zonas con necesidad de cobertura como las edificaciones más o menos complejas en las zonas donde no son necesarias las edificaciones cerradas. Especialmente se definen los edificios en cuanto a sus dimensiones y en cuanto a tipologías de los mismos, que también se describen en sus aspectos fundamentales.

También trata sobre dos cuestiones de gran importancia: la Iluminación Natural del interior y la Ventilación Natural y Forzada de los Edificios Industriales en cuestión.

#### **Objetivos**

- Definir cómo deben de ser los edificios industriales una vez definido el lay-out o implantación de los mismos.
- Definir cómo deben ser los espacios con mayor o menor cobertura en una Planta industrial (espacios abiertos o semiabiertos).
- Definir las dimensiones aproximadas de los edificios a partir de las Implantaciones de equipos y sistemas y las limitaciones urbanísticas, y de otra índole que puedan existir.
- Mostrar los condicionantes que intervienen en el diseño de un edificio industrial, especialmente los que se refieren a su coste y a su plazo de ejecución. Análisis de los aspectos de rentabilidad de la inversión en base a variaciones de la misma.
- Análisis de las etapas necesarias para llegar a proyectar y construir un edificio industrial. Determinación de la tipología más adecuada de un edificio industrial.
- Definición del módulo base y la importancia de las proporciones en la edificación.
- Mostrar los conceptos básicos de la iluminación natural de edificios industriales.
- Mostrar los conceptos básicos de la ventilación natural y forzada en edificios industriales.

## **6.1. GENERALIDADES Y OBJETO**

Los Edificios Industriales forman parte de la Planta Industrial. Igual que la Planta Industrial es un subsistema del Sistema Empresa, los edificios industriales forman parte del subsistema Planta Industrial, como un subsistema de rango inferior; pero en todo caso deben obedecer a todos los condicionantes de la empresa y de la planta industrial a la que pertenecen. Esto quiere decir que su diseño no se puede realizar de una forma independiente, sino que hay que realizarlo tomando en consideración el entorno de la planta, de la empresa y de todos los condicionantes que rodean a la empresa en el lugar donde realiza sus actividades.

Dentro de los principios indicados, el objeto de esta lección es llegar a tener la definición de las edificaciones de una Planta Industrial para que puedan ser diseñadas, proyectadas, contratadas y, posteriormente, construidas. Indicamos que puede haber Plantas industriales sin edificaciones o con edificaciones de muy pequeña importancia, como sucede en plantas de refino, petroquímicas y algunas plantas químicas, en las cuales los equipos de proceso o sistemas (unidades paquete) que realizan las operaciones unitarias de los procesos de fabricación se encuentran a la intemperie. En estos casos los equipos o sistemas suelen estar compuestos por torres (columnas), tanques, intercambiadores de calor, hornos, etc., que no necesitan ningún tipo de protección frente a los agentes atmosféricos, que les proporcionan las edificaciones. En otros casos, las edificaciones corresponden a pequeños edificios administrativos, pequeños almacenes, servicios de personal, etc.

La metodología que se va a seguir en relación con las edificaciones de proceso o de servicios auxiliares de una planta industrial es en base a la implantación de los equipos de proceso o servicios auxiliares que debe albergar. Se debe en primer lugar elegir la tipología de la edificación y después determinar sus dimensiones aproximadas, las cuales una vez establecida la modulación y buscadas las proporciones adecuadas se convertirán en dimensiones definitivas. Definido el concepto de cada edificio se le tendrá que dotar de sistemas de iluminación y ventilación de acuerdo con las necesidades de los equipos de fabricación y con los puestos de trabajo.

En el caso de edificaciones correspondientes a servicios de personal, el número de personas a atender por turnos y el sistema organizativo (servicios a prestar al personal) nos determinarán, la implantación. Normalmente la legislación vigente en la zona fijará los espacios necesarios para cada actividad que se lleve a cabo.

En el caso de oficinas, la base será el organigrama de funciones a realizar y el número de personas. Partiendo de la implantación procederíamos a elegir una tipología de edificio, y después determinaríamos sus dimensiones aproximadas y exactas, una vez fijada la modulación y las correspondientes proporciones.

En todo caso, posteriormente, habrá que definir el sistema estructural, las cimentaciones, así como los cerramientos, pavimentos y coberturas necesarias, que serán objeto de las siguientes lecciones.

## **6.2. CONDICIONANTES PARA EL DISEÑO DE UN EDIFICIO INDUSTRIAL**

El dato de partida para la definición de los edificios industriales es la implantación general de la Planta Industrial y las implantaciones parciales de los propios edificios en cuestión. Las implantaciones parciales de cada edificio fueron hechas en función de los tamaños y ordenación de los equipos de proceso o de los servicios auxiliares que debe contener el edificio. A su vez estos equipos fueron determinados en base al proceso de fabricación, al personal (puestos de trabajo necesarios) y a los servicios auxiliares para que el equipo de proceso funcione correctamente.

El otro gran dato del problema es el terreno donde se implanta el edificio, caracterizado por su forma geométrica en tres dimensiones y sus características resistentes (capacidad portante), que van a condicionar el movimiento de tierras necesario y el sistema de cimentación.

Existen además una serie de condicionantes que vamos a analizar y que deberemos tener en cuenta siempre; como son:

- a) Legislación aplicable de toda índole.

La más directa, y que más nos afecta inicialmente, es la correspondiente a las ordenanzas del polígono industrial donde se ubique la factoría o las propias ordenanzas municipales. En ambos casos estas ordenanzas limitan superficies y volúmenes edificables, alturas máximas sobre rasante, líneas de retranqueo de fachadas e incluso líneas de retranqueo de edificaciones en precario como podrían ser las casetas de guarda de entrada a la factoría.

Suele ser importante la legislación contra incendios, incluso la normativa municipal que puede desarrollar la misma. También suele ser de una gran importancia la legislación medioambiental aplicable en la zona, y que regula los límites de los vertidos de sólidos, líquidos y gases, tanto en composición como en cantidad.

El tema es de una gran importancia. Se indican al final los listados de legislación general aplicable puesta al día (mayo, 2010).

b) Condicionantes impuestos por los equipos de fabricación.

Se refieren básicamente a los volúmenes necesarios que ocupan y que condicionan las formas de las edificaciones en planta y las alturas de las mismas así como las cargas y esfuerzos a que dan lugar sobre el edificio. En muchos casos hay que prever los espacios para el mantenimiento de los equipos, que normalmente suele traducirse en un aumento de altura de los edificios, por la necesidad de puentes grúa. La forma de analizar estas incidencias es estudiar equipo por equipo y ver sus necesidades en fase de montaje, operación y mantenimiento.

c) Condicionantes sobre los materiales a utilizar en las edificaciones.

Se trata en primer lugar de conocer qué materiales de construcción están disponibles en los plazos necesarios para que la Planta Industrial se ponga en marcha en las fechas previstas. Esto se refiere principalmente a:

- Materiales para sistemas de cimentación.
- Materiales para sistemas estructurales.
- Materiales para cerramientos.
- Materiales para coberturas.
- Materiales para pavimentos.
- Otros elementos constructivos secundarios.

La principal incidencia aparte de la económica es que la no disponibilidad puede condicionar el plazo de construcción. Esto resulta especialmente relevante en edificaciones de fábricas a construir en países del tercer mundo.

d) Condicionantes económicos.

Dentro de la inversión a realizar en una Planta Industrial, normalmente, las obras civiles pueden llegar a representar hasta un 60% de la inversión y las edificaciones hasta un 40/50% de la misma. Según lo anterior, la economía de las edificaciones puede revestir una gran importancia en la rentabilidad de la planta industrial. En el Anexo 1 se puede analizar para diferentes plantas fabricando productos con valores añadidos diferentes, cual es la sensibilidad de la rentabilidad con variaciones presupuestarias del inmovilizado como son las edificaciones.

En el ejemplo del Anexo 1, si suponemos que de los 9.000 kE del inmovilizado, 3.600 kE corresponden a edificaciones, se puede apreciar la siguiente sensibilidad:

- Si el coste de las edificaciones es el previsto de 3.600 kE, el TIR, es 12,31%.

- Si el coste de las edificaciones sube un 15% a 4.140 kE, el TIR pasa a ser 11,43%.
- Si el coste de las edificaciones baja un 15% a 3.130 kE, el TIR pasa a ser 13,14%.

Como se ve, las variaciones del TIR son bastante importantes, llegando casi a los dos puntos. Estas variaciones tendrían más importancia, cuanto más alto fuera el porcentaje de la obra civil y las edificaciones en la planta industrial.

e) Plazos de realización de la planta industrial.

Este aspecto puede condicionar los materiales constructivos a emplear, incluso el propio diseño de las edificaciones. Es especialmente importante este punto a la hora de seleccionar el sistema estructural de acero, de hormigón armado o de hormigón armado prefabricado u hormigón pretensado.

Puede condicionar incluso el sistema de contratación de la planta industrial, especialmente en lo que concierne a las obras civiles.

f) Condicionantes de tipo social.

Adquieren una gran importancia y cada vez la tendrán más. Se refieren al ambiente existente en los puestos de trabajo (iluminación, ventilación, aire acondicionado, etc.), así como a los servicios de los que el personal empleado puede disponer (vestuarios, aseos, servicios médicos, salas de reposo, etc.).

g) Condicionantes de mantenimiento.

Revisten una gran importancia cuando la atmósfera en el interior de los edificios presenta algún tipo de ataque, a veces imperceptible, sobre los materiales de construcción. Es frecuente que tengamos que elegir entre sistemas estructurales metálicos de alma llena o celosías con barras más delgadas, cuyo coste es menor pero con mantenimiento mayor.

h) Condicionantes estéticos.

A veces es necesario que las plantas industriales, por razones exclusivamente de imagen, de marca, tengan un determinado aspecto que viene impuesto por razones de marketing. Esto condiciona en general a los materiales a emplear en cerramientos y coberturas así, como en el aspecto global de las factorías.

### **6.3. ETAPAS PARA EL DISEÑO DE UN EDIFICIO INDUSTRIAL**

En todos los casos y en todos los edificios que pueda tener una Planta Industrial, el criterio de diseño más importante es que la función que desempeña el edificio dentro de la Planta Industrial, condicione su forma y todas sus características. Esto quiere decir que los edificios se hacen para albergar los equipos y sistemas, que realizan la producción y a la medida de todos ellos, para que todo el conjunto resulte lo más

funcional posible. Lo indicado es lo contrario a hacer una nave y meter dentro de ella los equipos de producción, cosa que solo es aceptable en muy pequeñas industrias, utilizando para ello pequeñas naves, normalmente, en polígonos industriales.

Dejando claro lo anterior que es la filosofía del diseño del edificio industrial, vamos a describir las etapas que se deben seguir para realizar un diseño correcto. Los datos de que disponemos en esta fase del diseño son los siguientes:

- Terreno disponible (topografía, estudio geotécnico y localización de acometidas).
- Condicionantes para el diseño (apartado 6.2).
- Implantación general (situación del edificio en cuestión dentro del conjunto de la Planta Industrial).
- Implantación parcial del propio edificio (con la situación de los equipos y/o sistemas en el edificio en cuestión).
- Situación de los puestos de trabajo y espacios necesarios en la implantación parcial.
- Situación y espacios requeridos por los servicios auxiliares.

Con esta información las etapas a cubrir en el proyecto de un edificio industrial son las siguientes:

- Dimensionamiento previo del edificio sobre la base de su implantación parcial.
- Elección de la tipología del edificio.
- Elección del módulo base y proporciones.
- Dimensionamiento definitivo del edificio.
- Análisis y determinación de cargas (internas y externas) y análisis de cargas dinámicas que provocan equipos y sistemas.
- Definición de sistemas estructurales y cimentaciones.
- Definición de cerramientos coberturas y pavimentos.
- Definición de condiciones ambientales.
- Resumen del diseño básico del edificio industrial.
- Evaluación del cumplimiento de condiciones.
- Diseño de detalle o constructivo de la edificación industrial. Vamos a describir en qué consiste cada una de las etapas indicadas:

### 6.3.1. Dimensionamiento previo del edificio en base a su implantación parcial

Prácticamente el dimensionamiento previo del edificio industrial viene dado por los equipos de fabricación, los puestos de trabajo y los servicios auxiliares necesarios para la producción, es decir, nos vendrán dadas la longitud, la anchura del edificio y la altura necesaria para la operación de los equipos, su montaje previo y su mantenimiento y también incluso su desmontaje para tener previsto incluso necesidades de sustitución. En el caso de alturas de la edificación es importante considerar los puentes grúa como se indica en la figura 6.1.

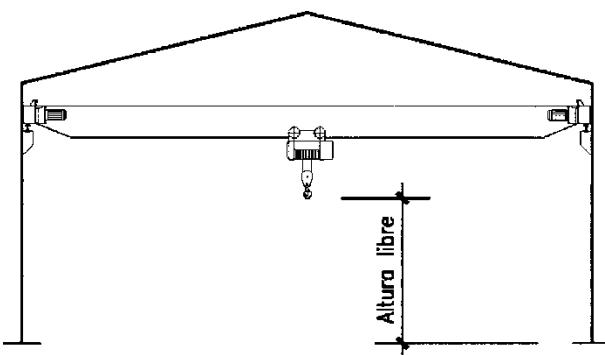


Figura 6.1

Hemos indicado un caso simple de inscribir en un recinto paralelepípedo los equipos de fabricación, pero podría darse el caso de necesitar adosar paralelepípedos, incluso otras figuras en planta, también con diferentes alturas. Hacemos anotar que nos referimos a edificios de planta rectangular porque es la figura geométrica más fácil de construir y sobre todo la más económica en edificaciones industriales funcionales. Solo estarían justificadas figuras volumétricas distintas a la paralelepípedica en casos excepcionales en los que se busca alguna singularidad diferenciadora o por razones de marketing.

Como resultado de lo anterior, obtenemos las medidas aproximadas de una o varias figuras rectangulares en planta con una altura uniforme o varias alturas diferentes por exigencia de los equipos de proceso o servicios auxiliares.

Aquí destacamos como cuestión importante de tipo conceptual, el que el contenido del edificio, es decir, los equipos y sistemas de fabricación que contiene son los que definen las dimensiones del edificio. Esto significa que las operaciones unitarias que se realizan por los equipos definen las dimensiones de los edificios. Insistimos que de ninguna manera consideramos aceptable, como comentábamos antes, el realizar una fábrica a base de naves de fabricación, en las cuales, una vez construidas, situamos los

equipos de fabricación con mayor o menor fortuna, improvisando soluciones que en todo caso serán poco flexibles. Debemos obedecer a que el proceso condiciona los equipos de fabricación, y estos, ordenados de acuerdo con tal proceso, son realmente los que condicionan las dimensiones de las edificaciones de la planta industrial. Se pretende dejar este concepto muy claro, sobre todo después de ver múltiples industrias de tamaño medio y pequeño que cometan este tipo de errores, que además perdurarán durante toda la vida de la Planta Industrial.

En el dimensionamiento previo del edificio y complementando lo que se hizo al realizar la implantación general, debemos prever las dimensiones, considerando las ampliaciones que razonablemente podamos prever de las edificaciones, ya que condicionarán el diseño de los edificios. Normalmente podremos prever las ampliaciones pero también debemos tener en cuenta que, salvo excepciones, no serán construidas en el momento inicial de la factoría, ya que representarían inversiones en inmovilizado no rentable, es decir, debemos pensar en el futuro sin costes en el presente.

Normalmente, a la conclusión que llegaremos es que habrá un dimensionamiento previo del edificio de base rectangular en la cual será necesario o no zonificar con diferentes alturas según tamaños de equipos o sistemas.

El autor ha ensayado en varias ocasiones con edificaciones industriales de planta no rectangular (en una ocasión con edificaciones de planta de pentágonos múltiples adosados), y a la conclusión que ha llegado es que efectivamente se puede llegar a edificaciones más atractivas pero con el inconveniente de un mayor coste, lo cual no es adecuado para un medio de la producción.

### **6.3.2. Elección de la tipología de los edificios industriales**

Aludiendo al diccionario de la RAE que dice en su afección etnográfica que «tipología» es la ciencia que estudia los distintos tipos raciales en que se divide la especie humana, aquí por analogía nos atrevemos a referirnos a los distintos tipos de edificios que se suelen utilizar en las plantas industriales.

La primera consideración que se va a hacer es si conviene que los edificios industriales sean de una planta o de varias plantas. En términos generales la tendencia debe ser la de realizar las edificaciones de una sola planta, porque son más fácilmente ampliables y porque son de menor coste. Otra razón, a veces muy importante, es que resulta más fácil y económico soportar maquinaria o equipos pesados que también

pueden producir esfuerzos vibratorios, sobre el terreno que sobre la estructura de una planta superior. Una razón para diseñar edificaciones en varias plantas sería realizar transportes por gravedad entre equipos situados en diferentes plantas, bien por tuberías, conductos o incluso rampas.

Una ventaja de una edificación en una sola planta sería la de una mayor racionalidad de la implantación, y un inconveniente sería el mayor coste del terreno, que necesariamente sería mayor.

A veces, en industrias que utilizan máquinas o equipos ligeros (p. e. industria electrónica) situadas en terrenos de alto coste pueden justificar edificios de dos o más plantas. También hay otros casos singulares, como es el ejemplo de un Matadero General Frigorífico que utiliza la gravedad para el transporte de los subproductos de la zona de faenado de las reses a la zona de tratamiento de subproductos en planta inferior, sustituyendo así carretillas y/o montacargas de un coste superior.

En general, y como conclusión, nos debemos inclinar a diseñar edificios industriales de una sola planta.

Una vez definido si interesa una o varias plantas, el siguiente paso será considerar que la edificación esté constituida por una nave única o por una nave múltiple, como se indica en las figuras 6.2 y 6.3.



Figura 6.2

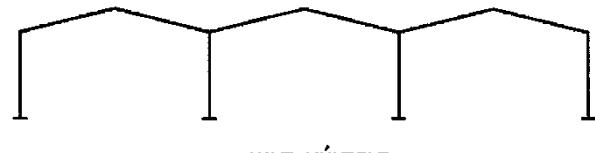


Figura 6.3

Independientemente del tipo de cubierta que tenga el edificio, el ancho de la nave viene condicionado por la implantación de los equipos y los servicios auxiliares. A efectos de la economía del edificio, existen unos límites de 20 a 25 metros lineales para el ancho de la nave única. En el caso de tener que sobrepasar por razones de proceso/equipos estas medidas, resultará más económico ir a soluciones de naves múltiples si fuera posible. En casos excepcionales podríamos ir a anchos mayores por ejemplo de 30 metros en estructura de alma llena o celosía. En el ejemplo del anexo 3, la longitud de las líneas de fabricación y su colocación transversal al eje de la nave condicionó la construcción de dos naves de 30 metros de ancho cada una, según se muestra en la figura 6.4.

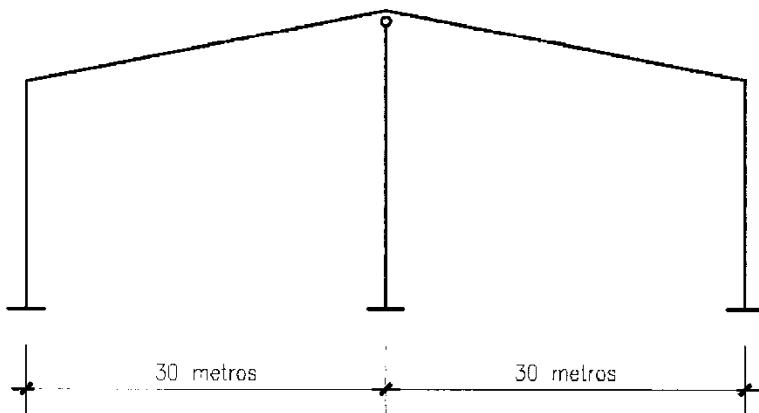
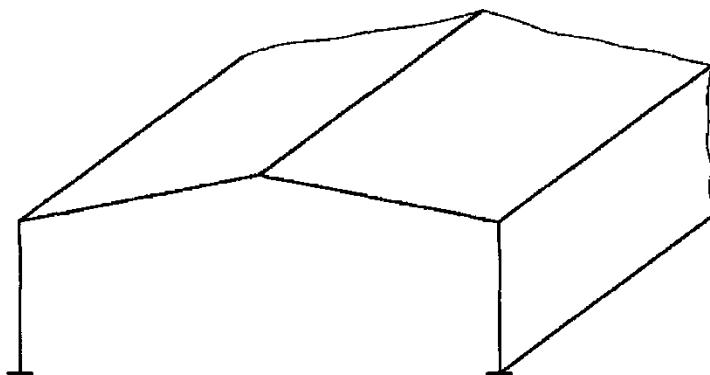


Figura 6.4

La forma del edificio viene también condicionada por la forma de la cubierta, que se diseña de acuerdo con las necesidades de iluminación natural que precise la fabricación.

La solución más simple es la de nave única con cubierta a dos aguas, tal como la de la figura 6.5.



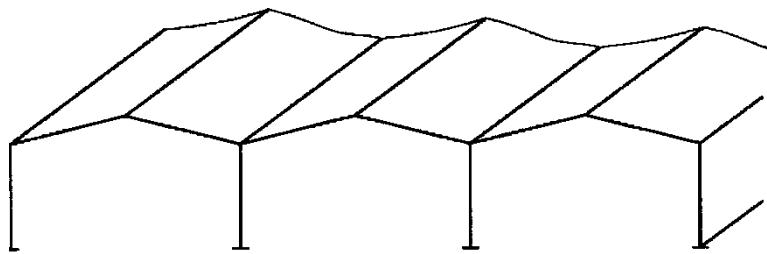
NAVE ÚNICA CON CUBIERTA A DOS AGUAS

Figura 6.5

Este tipo, como indicábamos antes, está limitado en ancho a los 20/25 metros lineales y puede tener pendientes en cubierta según materiales elegidos que pueden llegar a un 2%, cuando la cobertura está terminada en Materiales metálicos y no está en zonas de grandes nevadas.

El ancho de la nave condiciona la estructura que, normalmente, deberá ser metálica y ahora más recientemente, de hormigón armado prefabricado para anchos menores. En casos límites de luces grandes, se puede usar estructura de hormigón pretensado para los elementos estructurales horizontales.

Una solución adecuada utilizando perfiles metálicos o estructura prefabricada de hormigón puede ser la de nave múltiple con cubierta a dos aguas con un soporte intermedio como se indica en la figura 6.6.



**NAVE MÚLTIPLE CON CUBIERTA A DOS AGUAS**

Figura 6.6

A veces la iluminación natural que se requiere condiciona la forma de la cubierta y podemos mostrar los siguientes casos:

- Caso de naves múltiples con lucernarios que producen incidencia directa de la luz solar sobre los puestos de trabajo o sobre los equipos de fabricación. Figura 6.7.

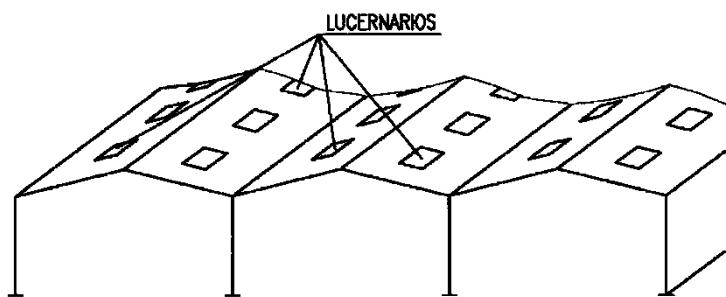


Figura 6.7

- Caso de naves múltiples con lucernarios en cumbre que pueden utilizarse también para ventilación. La luz solar no tiene apenas incidencia directa. Figura 6.8.

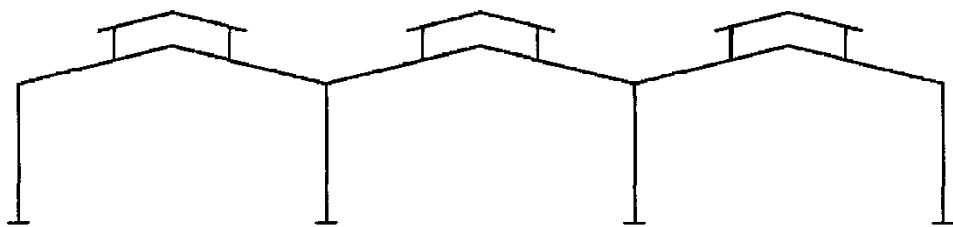


Figura 6.8

- Caso de naves múltiples con lucernarios orientados al Norte (se conocen como cubiertas en dientes de sierra). No habrá incidencia directa de luz solar si el ángulo alfa es superior a la inclinación máxima del sol en el paralelo donde se constituye la fábrica. Figura 6.9.

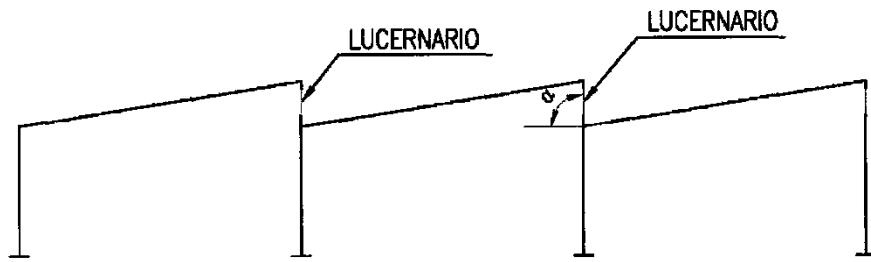
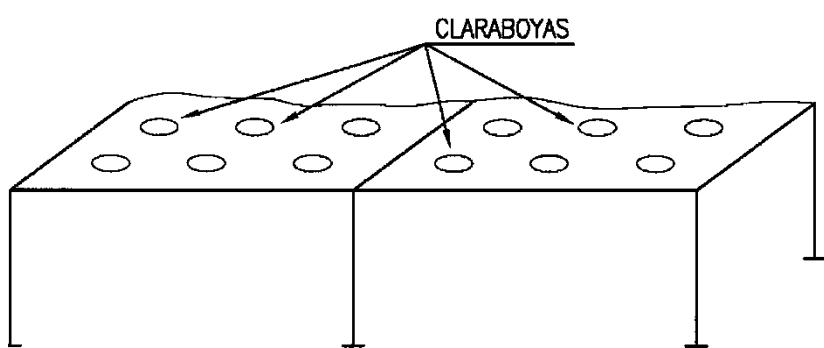


Figura 6.9

- d) Caso de naves múltiples en dientes de sierra con lucernarios orientados al Norte. No habrá incidencia directa de los rayos del sol si los lucernarios están orientados al norte o con una desviación del norte geográfico que impida la penetración Figura 6.10.
- e) Caso de nave múltiple con cubierta plana y claraboyas. Esta solución para grandes luces es cara por el mayor coste de la estructura y por la impermeabilización necesaria Figura 6.11.



Más adelante se describirán con más detalle los sistemas a emplear más adecuados para las coberturas en los edificios industriales.

Como conclusión indicamos lo siguiente:

- Los equipos de fabricación condicionan el ancho y el largo de los edificios. Del ancho resultante se deduce que el edificio sea de nave única o sean naves múltiples.
- La iluminación natural que requieran los equipos de fabricación y los puestos de trabajo condicionan los tipos de cubierta. En todo caso es imprescindible, o al menos resulta conveniente, evitar la incidencia directa de los rayos del sol.
- La altura de los edificios viene condicionada por los equipos de fabricación y por la existencia de puentes grúa para la operación o el mantenimiento. En la figura 6.12 se muestra un ejemplo de la determinación de la altura de un edificio industrial con puente grúa.

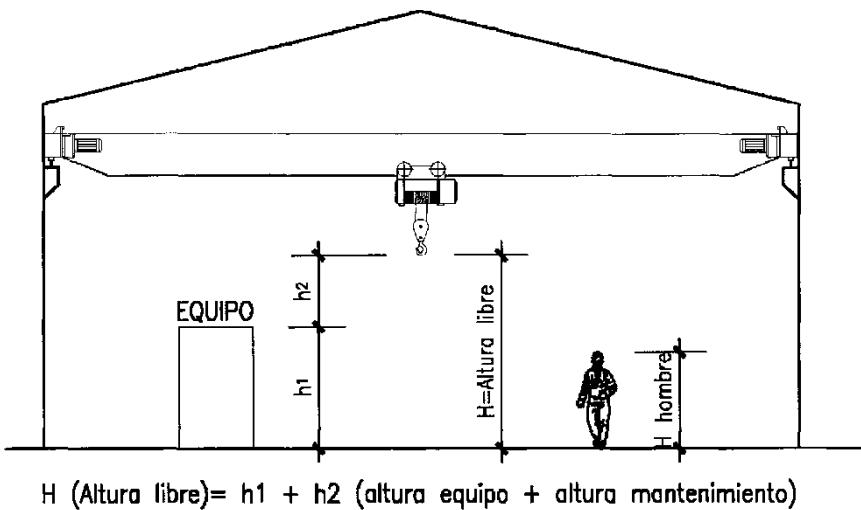


Figura 6.12

### 6.3.3. Elección del módulo base y proporciones en un edificio industrial

Se trata de mejorar la calidad estética de las edificaciones industriales a la vez que hacerlas más fácilmente construibles, por lo que se van a considerar conceptos de uso frecuente en la arquitectura urbana, y especialmente en edificios singulares.

Los dos conceptos que vamos a usar son:

- El módulo base.
- La proporción.

No podemos olvidar que el dimensionamiento de un edificio industrial viene dado por el proceso de fabricación (secuencia de operaciones unitarias) y por los equipos y/o sistemas que realizan las operaciones unitarias del proceso. Ninguna razón estética puede modificar lo indicado. Sin embargo, siempre podremos intentar hacer unos dimensionamientos sin perjuicio de lo anterior, con unas modulaciones tales que permitan facilitar la construcción de las edificaciones y mejorar a través de las proporciones la estética de las mismas.

#### 6.3.3.1. La coordinación modular

Definimos la coordinación modular como aquella que relaciona las distintas dimensiones de una construcción o edificación, tomando como unidad de medida el llamado «módulo base», siendo por tanto todas las dimensiones divisibles por un único denominador, que no es precisamente un número sino una unidad de medida, que es precisamente el «módulo base».

El módulo como base de relación dimensional viene siendo utilizado desde la antigüedad, y ya en la arquitectura griega era una relación entre las distintas partes de una obra arquitectónica y el todo completo. En el origen, el módulo empleado derivaba del radio de las columnas en la proximidad de la base de éstas. Este módulo variaba de edificio a edificio según las dimensiones de éste, pero todos los edificios del mismo tipo guardan las mismas proporciones entre el todo y cada una de sus partes. Ver figura 6.13.

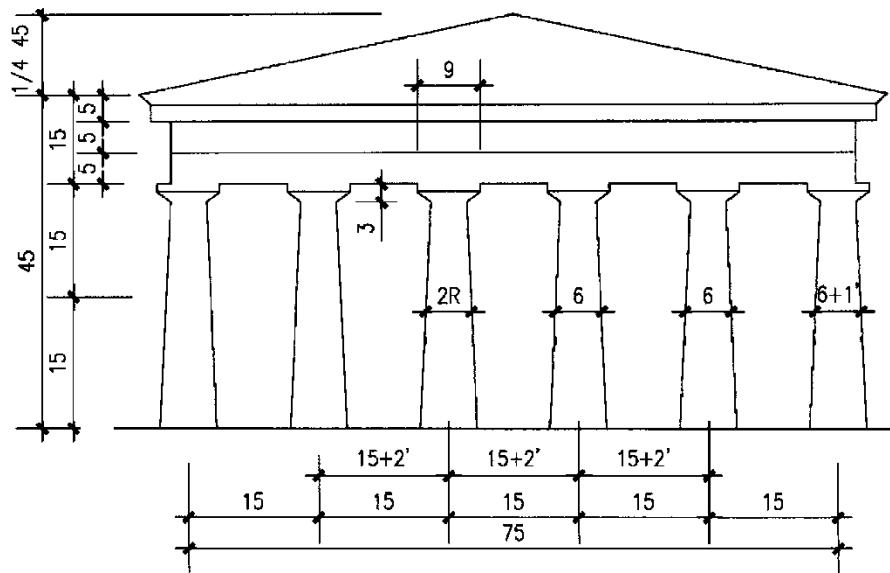


Figura 6.13

Desde entonces y hasta nuestros días, esta concepción de lo que es un módulo siempre ha tenido un doble valor estético y práctico y ha sido considerado portador de la armonía y regulador de las proporciones de los edificios.

El aspecto práctico ha consistido en que la aplicación de la modulación y su uso han aportado una cierta sencillez de composición y de ejecución. El aspecto estético se ha derivado de que esa proporción entre el todo y las partes ha guardado unas reglas de armonía que se han estudiado y transmitido por los tratadistas de arquitectura de época en época.

Actualmente se pretende seguir manteniendo esa doble aplicación estética y práctica relacionándola tanto con la normalización de elementos como con la industrialización de la edificación.

Por tanto, por coordinación modular o modulación entendemos que todas las dimensiones de una edificación son múltiplos o submúltiplos de una predeterminada que es el «módulo base» elegido.

### 6.3.3.2. Las proporciones y la sección áurea

A lo largo de la historia de la cultura occidental se han establecido distintas teorías acerca de las proporciones, desde los antiguos egipcios, los griegos y los romanos.

El Renacimiento, el Neoclasicismo, etc. hasta Le Corbusier, la proporción ha sido la base de la belleza estética.

Todas esas teorías tienen en común la denominada por Leonardo da Vinci «la sección áurea» o «divina proporción» y que según Platón es la «quinta esencia de la proporcionalidad» ya que «es imposible que dos cosas se unan de manera bella sin mediar una tercera: la proporción».

Dos segmentos  $m$  y  $M$ , se relacionan según la «sección áurea» si entre ellos se cumple que:

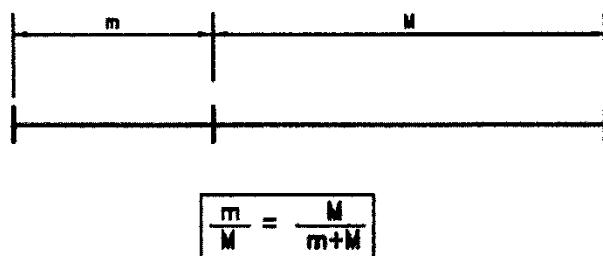


Figura 6.14

Esta proporción siempre se encuentra en la relación del número (j) «número de oro», cuyo valor es  $1,618, \phi = \frac{\sqrt{5}+1}{2} = 1,618$

Todas las series de proporciones que se construyan sobre la base del número, gozan de las propiedades de esta proporción.

Las proporciones establecidas por la sección áurea se encuentran en muchos monumentos clásicos.

Por tanto, para determinar las dimensiones concretas de un edificio o de sus partes, además de utilizar un módulo base hay que proporcionar las dimensiones de cada elemento.

Tanto Leonardo da Vinci como Vitrubio establecieron la hipótesis de que si el cuerpo humano está bien proporcionado, estará relacionado en su conjunto y en todos sus miembros según la sección áurea.

En la arquitectura clásica griega y romana, no se concibe ninguna construcción sin los dos conceptos mencionados hasta ahora: el módulo y la proporción; siendo el módulo la unidad de medida utilizada para proporcionar las construcciones.

## 6.7. DIMENSIONAMIENTO FINAL DEL EDIFICIO INDUSTRIAL

Considerando siempre lo indicado en el punto anterior [6.3], aunque de ninguna manera con carácter imperativo, para definir las dimensiones definitivas de un edificio industrial, y siempre considerando un recinto con base rectangular y altura constante o variable, debemos considerar las tres dimensiones básicas (ver figura 6.15).

La dimensión ancho «H» viene normalmente impuesta por los equipos que constituyen el proceso de fabricación y, sobre todo, por la ordenación que hagamos de los mismos en la implantación, y también por los puestos de trabajo necesarios para operar los equipos. Este ancho debe venir condicionado por la economía de la edificación (sobre todo por el sistema estructural), no conviniendo anchos menores de 10 metros ni mayores de 25/30 metros, a partir de los cuales ya deberíamos ir a soluciones de naves múltiples, si los equipos lo permiten.

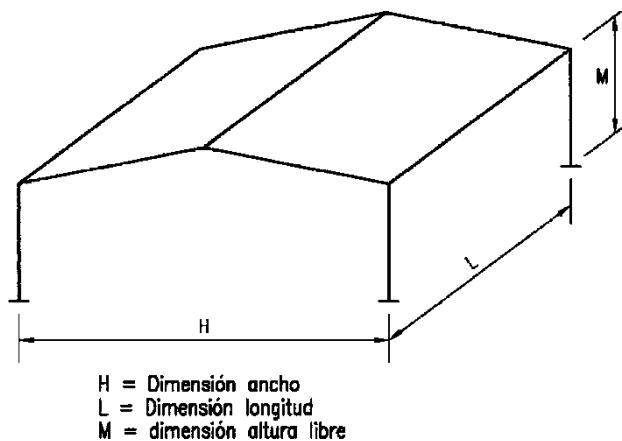


Figura 6.15

La dimensión longitud «L» es más libre, quiere decir que suele tener una menor dependencia del proceso de fabricación, y es donde juegan un papel importante las previsiones de futuras ampliaciones. Hay una dimensión importante que es la distancia entre pilares o la modulación entre pilares que en estructuras porticadas isostáticas o hiperestáticas dependen en gran medida, como veremos, de las cargas exteriores y de los materiales estructurales seleccionados.

Así pues:

- El material de cobertura seleccionado determina un peso propio que, junto con los esfuerzos de nieve, viento y sísmico, condiciona las luces máximas que puede soportar dicho material de cobertura con flechas admisibles
- Lo anterior determina, en el caso de las estructuras metálicas o de hormigón prefabricado, la distancia entre correas o viguería de hormigón armado o pretensado

de un forjado, y por último, la tensión y/o flecha admisible de las correas o viguería determinan la separación de las estructuras porticadas (pórticos y/o soportes y cerchas).

- La separación de soportes es el módulo que realmente condicionará la longitud del edificio según el esquema:

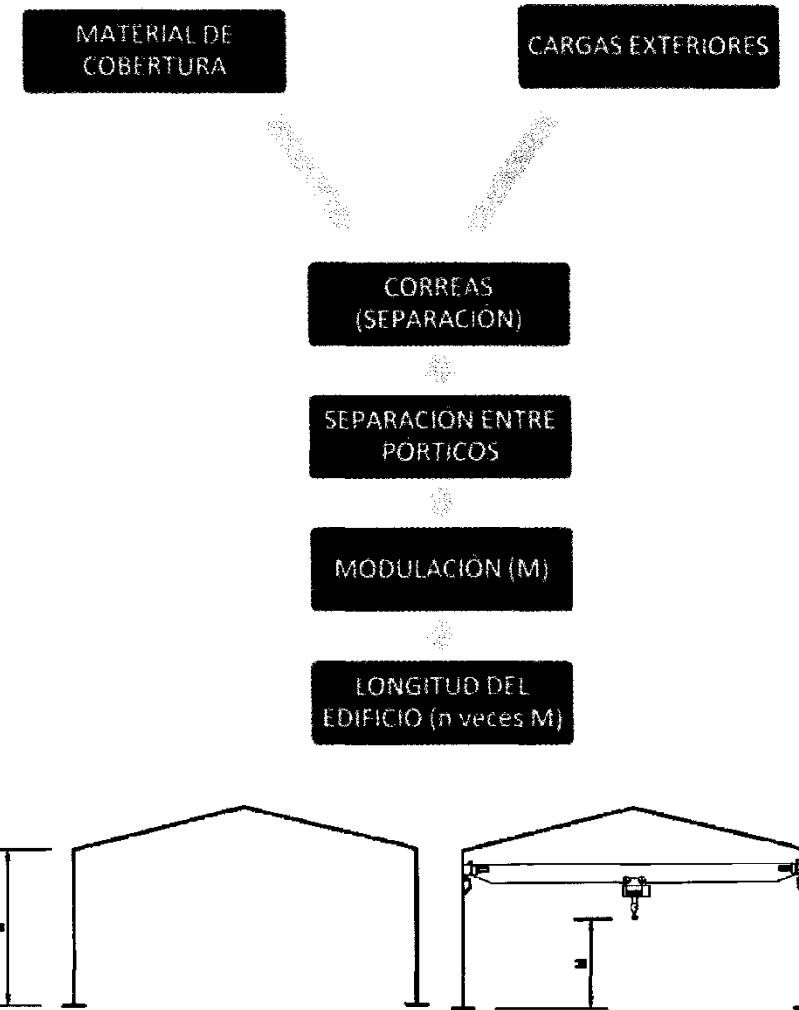


Figura 6.16

En cuanto a la altura de las edificaciones industriales hay que distinguir los dos casos siguientes:

- Naves con puente grúa.
- Naves sin puente grúa.

En el caso de naves con puente grúa hay que considerar las alturas que se indican en la figura 6.12 para determinar la altura del edificio industrial.

## **6.8. LA ILUMINACIÓN NATURAL EN LOS EDIFICIOS INDUSTRIALES**

### **6.8.1. La iluminación natural**

La luz visible corresponde a la región del espectro electromagnético con longitudes de onda entre los 780 nm (rojo) y los 380 (violeta). Esta región entre las longitudes de onda citadas es realmente el espectro visible en el cual se nos permite ver los objetos.

Además, la luz natural, que a lo largo del día varía en intensidad e incluso en color, hace un efecto regulador sobre el cuerpo humano contribuyendo de una forma importante a la existencia de los biorritmos.

La luz natural que incide sobre un objeto tiene tres componentes:

- a) La luz que procedente exclusivamente del Sol incide sobre el objeto.
- b) La componente reflejada difusa que proviene de las reflexiones de la atmósfera y que incide sobre la superficie del objeto.
- c) La componente reflejada que proviene de las superficies de otros objetos situados en el entorno más o menos próximo.

Estas tres componentes de la luz visible son captadas por el ojo humano mediante el sentido de la vista.

Además de estas sensaciones, hay otras también producidas por los rayos luminosos, tales como:

- Los efectos que se producen como consecuencia de las radiaciones ultra-violetas que, además de producir pigmentaciones en la piel, pueden producir efectos negativos en la visión.
- Efectos de tipos de trastorno en nuestro biorritmo, causando desajustes en la producción de hormonas y otros.
- Efectos de tipo psicológico de alteración de sueño, el «jet lag» o incluso fatiga.

Lo anterior hace que tengamos la necesidad de establecer en los edificios industriales unos niveles de iluminación que eviten, en la mayor medida de lo posible, los trastornos citados.

Hay dos criterios dispares al efecto:

- Aprovechar la iluminación natural tanto como sea posible, y únicamente establecer una componente de iluminación artificial complementaria en los lugares donde sea necesario.
- Iluminar todos los espacios con iluminación artificial, en ausencia de iluminación natural, lo cual evitará cambios de niveles e incluso de colores.

El segundo de los criterios indicados es típico de los años sesenta/ochenta, con precios bajos de la energía, y utilizado en locales como El Corte Ingles, aislados del exterior. Tiene dos graves inconvenientes: la monotonía y el coste. Precisamente por este ultimo aspecto, la tendencia actual es a aprovechar al máximo la iluminación natural, complementándola, allí donde sea necesario, con iluminación artificial.

Las unidades de medida que debemos considerar son las siguientes:

La luminancia (candelas por metro cuadrado) es la impresión de claridad que un observador tiene del brillo que desprende una fuente de luz o una superficie iluminada. Se define como la densidad angular y superficial de flujo luminoso que incide, atraviesa o emerge de una superficie en una dirección determinada.

Una luminancia demasiado elevada (mayor de 500 candelas por metro cuadrado) provoca deslumbramiento, y una luminancia demasiado baja (menos de una candela por metro cuadrado) hace que la superficie radiante se perciba como negra.

Reviste una gran importancia la distribución de los niveles de luminancias. Demasiados contrastes provocan fatigas visuales, y demasiadas uniformidades provocan confusiones en la visión de los bordes de los objetos.

La iluminancia es la cantidad de flujo luminoso emitido por una fuente de luz que incide, atraviesa o emerge de una superficie por metro cuadrado, se mide en lux, que es un lumen por metro cuadrado.

Nuestro interés, a efectos de iluminar edificios industriales, estriba en tener la suficiente iluminancia (LUX) y que ésta sea uniforme en las áreas de trabajo para evitar las sombras que causan fatiga visual, y los deslumbramientos que pueden ser muy peligrosos porque provocan accidentes por la pérdida instantánea de visión según su intensidad.

Esto quiere decir que debemos mantener unos niveles mínimos de iluminancia según el tipo de trabajo a desarrollar, a la vez que una uniformidad des que eviten fatigas y/o pérdidas de visión.

#### **6.8.2. Criterios de diseño de la iluminación en edificios industriales con luz natural**

Según las tareas a realizar en los locales industriales, y especialmente en b zona a iluminar, será necesario un nivel determinado de iluminancia (Lux). Hay diversas versiones de los niveles mínimos y más convenientes según los puntos de vista de la diferente normativa. Vamos a mostrar las principales.

En la Tabla 6.1 se muestran las iluminaciones recomendadas según el tipo de trabajo por la Norma DIN-5035.

Tabla 6.1

Lux	Tipo de trabajo
<b>30</b>	Suficiente para orientarse
<b>60</b>	Suficiente para orientarse
<b>120</b>	Ejercicios sencillos
<b>250</b>	Ejercicios sencillos con grandes contrastes
<b>500</b>	Ejercicios normales
<b>750</b>	Ejercicios normales con detalles medios
<b>1.000</b>	Ejercicios difíciles
<b>1.500</b>	Ejercicios difíciles con detalles pequeños
<b>2.000</b>	Ejercicios muy difíciles y larga duración
<b>3.000</b>	Ejercicios muy difíciles y larga duración con detalles muy pequeños
<b>5.000</b>	Casos especiales
<b>10.000</b>	Iluminación a cielo abierto

En la Tabla 6.2 de la página siguiente se muestran los niveles recomendados por la Norma UNE-41500.

En la Tabla 6.3 se indican los niveles recomendados por la Guía técnica de la accesibilidad en la edificación, 2001-CEAPAT.

Tabla 6.2. Niveles de iluminación recomendados en la norma UNE 41500

Nivel de iluminación (lux)	Características del espacio
20	Espacios exteriores.
50	Interiores visitados con poca frecuencia, sin percepción de detalles.
100	Interiores visitados ocasionalmente, con tareas visuales confinadas al movimiento y una pequeña percepción de detalles.
150	Interiores visitados ocasionalmente, con tareas visuales requiriendo percepción de detalles o bien con riesgo para personas.
200	Interiores continuamente ocupados, con tareas visuales sin percepción de detalles.
300	Interiores continuamente ocupados, con tareas visuales sencillas (detalles grandes o con contraste).
500-1.000	Interiores con tareas visuales difíciles, indispensable fina distinción de detalles.
>1.000	Interiores con actividades que exijan una distinción extremadamente fina o bajo condiciones de contraste extremadamente difíciles.

Tabla 6.3. Niveles de iluminación recomendados por la Guía técnica de la accesibilidad en la edificación, 2001-CEAPAT

Usos		Nivel mínimo (lux)	Nivel garantizado
Vivienda	Pasillos	100	
	Vestíbulos	100	
Edificios públicos	Pasillos	150	300
	Vestíbulos	200	300
	Rampas	150	300
	Escaleras	150	300
Aseos	General	100	300
	Puntual	200	300

En el cuadro de la Tabla 6.4 se indican los niveles mínimos de iluminación, que figuran en el Real Decreto 486/1997 de 14 de abril. Ministerio de Seguridad e Higiene.

Tabla 6.4. Iluminación en los lugares de trabajo (Disposiciones publicadas en el BOE 97, 23/03/97. Real Decreto 486/1997, de 14 de abril. Ministerio de Seguridad e Higiene)

Zona o parte del lugar de trabajo'	Nivel mínimo de iluminación (lux)
1. Bajas exigencias visuales	100
2. Exigencias visuales moderadas	200
3. Exigencias visuales altas	500
4. Exigencias visuales muy altas	1.500
Áreas o locales de uso ocasional	50
Áreas o locales de uso habitual	100
Vías de circulación de uso ocasional	25
Mas de circulación de uso habitual	50

Según lo anterior, el primer criterio que debemos fijar en el diseño es el nivel de iluminancia en luxes para cada parte de un edificio industrial, de un edificio de servicios auxiliares, de los servicios de personal o de los servicios generales.

El segundo criterio es el de la uniformidad de la distribución de la iluminancia. Hay que determinar las variaciones en porcentaje permitidas en las diferentes zonas de un edificio. Se suele determinar qué porcentaje de variación de la iluminancia es admisible, no aceptándose variaciones superiores al 20%, aunque esto depende de las operaciones que estemos realizando. Naturalmente en plantas organizadas por secciones, estas diferencias deberán tender a disminuir normalmente por la mayor precisión que

necesitan las operaciones. En este punto también juega un papel importante la dimensión de los edificios. Cuanto mayor sea el tamaño de los edificios, habrá que disponer de tomas de luz natural en mayor número y también con la mayor uniformidad, especialmente con tomas de luz en cubiertas.

Como factores externos que tienen una mayor influencia están:

- La situación geográfica del edificio industrial, en cuanto al paralelo en que está situado. Cuanto más cerca esté este paralelo del Ecuador más horas de luz solar tendrá el edificio y, además, la iluminancia será mayor.
- La proximidad de otros edificios que pueden constituir obstáculos para la llegada de la luz solar e incluso producir sombras.
- La orientación del eje del edificio, que tiene una gran importancia en el caso de utilizar lucernarios, en configuraciones en dientes de sierra.

Otro factor de gran importancia es el tipo de lucernario que se adopte. En la figura 6.17 se muestran diferentes tipos de lucernarios, tal como los describe el profesor Heredia en su libro Arquitectura y urbanismo industrial.

También en la figura 6.18 se muestran, para diferentes lucernarios, las proporciones geométricas indicadas, las uniformidades de las iluminancias, destacando como la más aconsejable en este sentido la correspondiente a dientes de sierra.

También, del libro citado del profesor Heredia, recogemos que para conseguir el nivel de iluminación necesario hay que disponer de superficies de lucernario adecuadas. Para el cálculo de las superficies de lucernario existen métodos aproximados de cálculo tales como:

- Método del índice de acristalamiento.
- Método de cálculo mediante el factor de «luz de día».

Describimos brevemente el Método del índice de acristalamiento.

Definimos el índice de acristalamiento « $v$ », como la relación entre la superficie acristalada total « $V$ » de un edificio (lucernarios verticales, horizontales e inclinados) y la superficie en planta del local a iluminar « $S$ ».

Por tanto, conociendo la superficie en planta « $S$ » y con la ayuda de los datos contenidos en la tabla de la figura 6.35, que proporciona los índices de acristalamiento, es posible definir el índice de lucernarios.

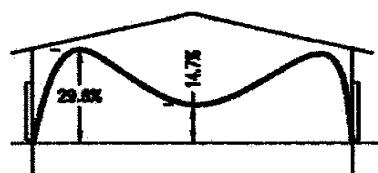
$$v = \frac{V}{S}$$

### DISTINTAS SOLUCIONES DE LUCERNARIOS

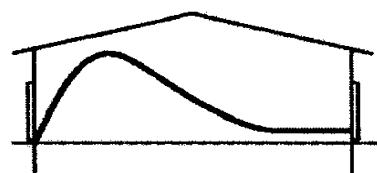
DENOMINACIÓN	SECCIÓN TRANSVERSAL	SECCIÓN LONGITUDINAL
VENTANAL CORRIDO		
VENTANALES		
MANSARDA		
LUCERNARIOS TENDIDOS		
MONTERAS		
LINTERNA CON LUCERNARIO CENTRAL		
LINTERNA TRANSVERSAL CON LUCERNARIO VERTICAL		
LINTERNAS CON LUCERNARIO VERTICAL		
DIENTES DE SIERRA		
LUCERNARIOS VERTICALES CUBIERTOS PARALELAMENTE A LOS PARES		

Figura 6.17

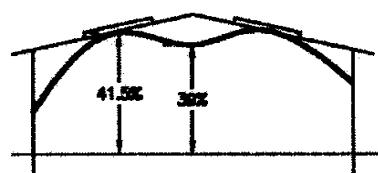
## ESQUEMAS DE LUCERNARIOS



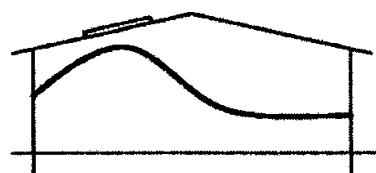
a)



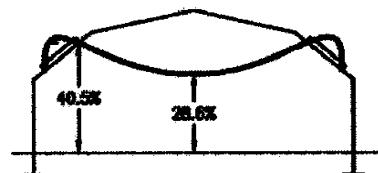
b)



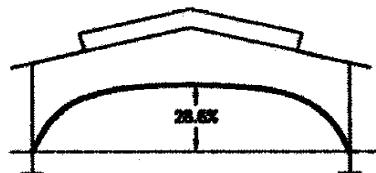
c)



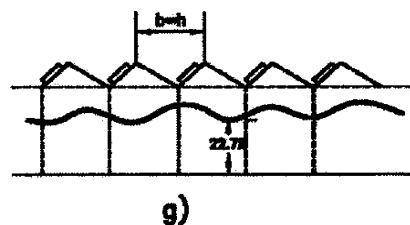
d)



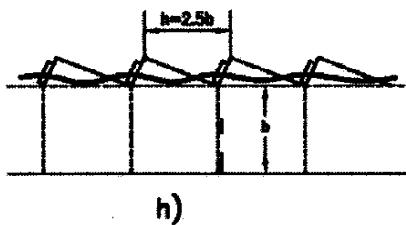
e)



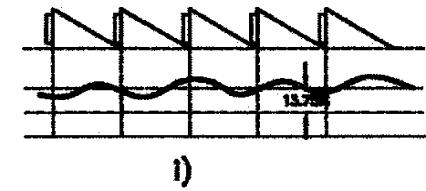
f)



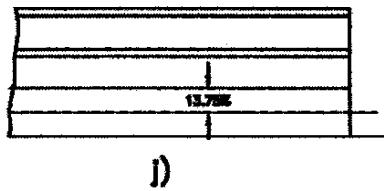
g)



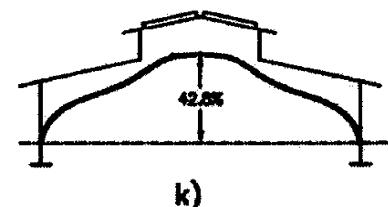
h)



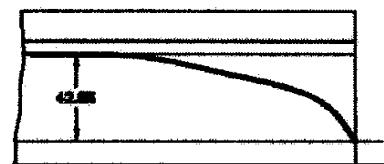
i)



j)



k)



l)

Figura 6.18

**Tabla 6.5.** Índices de acristalamientos (índices mínimos) de algunos locales industriales

Naturaleza de las industrias	Índice de acristalamiento en % de la superficie en planta
Acerías: (laminación, forja, salas de función, etc.).....	10
Automóvil: montaje de piezas.....	10
cadenas de montaje, acabado, control.....	50
Talleres de mecánica: (según la naturaleza del trabajo).....	10 a 50
Fundiciones.....	10 a 15
Forja de piezas pequeñas .....	20
Estampación .....	15
Industria textil: tintes claros.....	15 a 20
tintes oscuros .....	50
Hilaturas: locales de trabajo.....	10 a 15
control .....	50
Fábricas de cerveza .....	10 a 12
Centrales lecheras.....	12
Molinos: amolado, cilindrado .....	10
clasificación de harinas.....	30
Refinerías de azúcar.....	15
Cartonajes .....	12 a 20
Fábrica de calzado: troquelado .....	10
conformado (según el color de los tintes) .....	20 a 50
Taller de grabado.....	50
Taller de esmalteado .....	12
Taller de encuadernación.....	10 a 50
Taller de tenería.....	10 a 20
Taller de carpintería .....	15
Barnizado.....	20
Fábrica de papel .....	10 a 15
Imprenta: grabado de matrices .....	50
vaciado (a máquina o a mano) .....	15 a 30
impresión .....	30
lectura de pruebas .....	50
fotograbado .....	50
Talleres de pintura: pintura normal.....	10 a 50
pintura fina .....	50

NOTA: En esta lista se observa que los niveles de alumbrado necesarios van en función de la minuciosidad de los trabajos a realizar.

Como los datos de la tabla son limitados, cuando se trate de una industria, que no esté contenida en la misma, puede asignarse un índice de acristalamiento por analogía, entre la naturaleza de la industria de que se trate y las contenidas en la tabla.

Naturalmente existen otros métodos de mayor precisión que no son objeto del contenido de este libro.

#### **6.8.3. Sistemas de captación y de control de la iluminación con luz natural**

Vamos a realizar una breve descripción de los diferentes sistemas a utilizar. Naturalmente en todos los casos será necesario seleccionar previamente un sistema de iluminación según requerimientos y después elegir al fabricante más adecuado en cada caso, el cual nos proporcionará los diseños de detalle correspondientes a cada solución. Los diferentes sistemas de captación de luz solar son fundamentalmente los siguientes:

- La ventana. Es una abertura en una pared vertical que cumple las funciones de iluminación y ventilación. Tienen importancia en la eficiencia energética de los edificios, y se pueden dotar de sistemas de control de la luz solar de tipo manual y automático.
- La claraboya. Es un elemento generalmente translúcido en forma de cúpula o bóveda en situación cenital acoplado a un hueco de la cubierta. Hay claraboyas llamadas bivalvas, que impiden la iluminación directa e impiden el aumento de la carga térmica de los edificios.
- Los lucernarios. Son aberturas de formas diversas que se utilizan tanto en cubiertas inclinadas como planas. Tienen acristalamiento de vidrio o de material plástico transparente. Hay numerosos tipos según los fabricantes y el mejor conocimiento de los modelos se obtiene de los catálogos, que normalmente están en Internet en plan informativo.
- Los conductos de luz. Son orificios en cubierta con captadores diseñados para conducir la luz solar por un conducto de paredes muy reflectantes. Constan de un elemento captador, un elemento transmisor de paredes reflectantes y un elemento difusor que se coloca en el local a iluminar. También hay una variedad grande de fabricantes. Se recomienda buscar en Internet.
- La fibra óptica. Consta de los tres mismos elementos de los conductos de luz. El elemento transmisor en este caso es la fibra óptica, lo cual puede dar una mayor flexibilidad a estos sistemas. Los captadores incluso pueden seguir la posición del

sol en el cielo. También en este sistema nos remitimos a los catálogos de fabricantes.

Como comentario final, los sistemas más usados en plantas industriales son las claraboyas en cubiertas planas y los lucernarios en cubiertas en dientes de sierra.

Para servicios de personal y servicios generales predominan las ventanas, y a veces las claraboyas, en edificios de gran superficie.

Los sistemas de conductos de luz y los sistemas de fibra óptica se utilizan en edificios de más de una planta que tenga una superficie en que las ventanas proporcionen iluminación no suficiente en algunas zonas.

## **6.9. LA VENTILACIÓN EN LOS EDIFICIOS INDUSTRIALES**

### **6.9.1. Necesidad de la ventilación**

Los lugares de trabajo se van degradando por diversas causas, tales como las emisiones del personal (respiración, sudor, olores, humedad, etc.), así como por las emisiones que producen los procesos de fabricación (polvo, gases, calor, humedad y otros elementos contaminantes). Estas emisiones, variables en cada caso, son las que hacen imprescindible la renovación del aire ambiente de los puestos de trabajo, para lo cual es necesario establecer una ventilación que, en términos simplificados, puede clasificarse en:

- Ventilación natural.
- Ventilación forzada.

### **6.9.2. La ventilación natural**

Consiste en aprovechar la convención natural para mejorar el ambiente en un recinto cerrado, como puede ser un edificio industrial. La convención es el movimiento de las masas de aire que se produce como consecuencia de las diferencias de temperatura entre las diferentes zonas. Estas diferencias de temperatura las producen las emisiones de calor de las personas y las maquinas así como los elementos de iluminación natural o artificial. Las masas de aire caliente tienden a ascender, por su menor densidad, y tienden a ocupar los lugares que ocupaban las masas más frías, que tienden a descender.

Esta diferencia de temperaturas (diferencia de densidades) crea las corrientes de convención. Si provocamos en las partes altas de los edificios industriales salidas para el aire caliente se producirá una renovación del mismo y por tanto una ventilación natural. Realmente se está produciendo una renovación del aire sin consumo de energía (la energía la proporcionaron los focos de calor que calentaron el aire), que será tanto

más intensa cuanto más la propiciemos con entrada de aire frío del exterior y salidas de aire caliente en las partes más altas.

En la figura 6.19 se muestra un esquema de nave industrial con ventilación natural por corrientes de convención de aire.

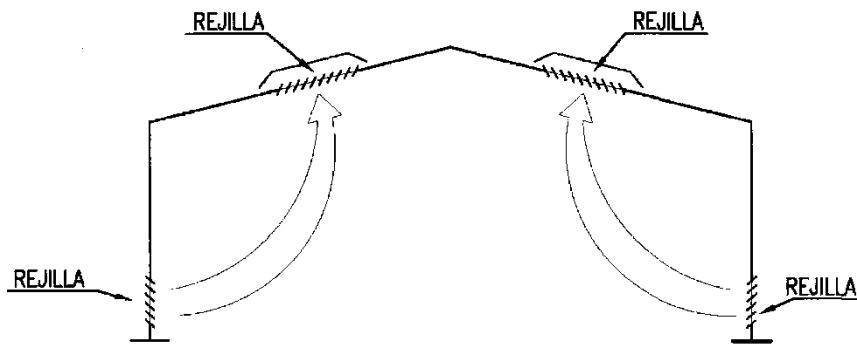


Figura 6.19

Además también se pueden producir corrientes de convención cuando una de las fachadas de un edificio está más caliente que la otra por un mayor soleamiento o incluso por la proximidad de algún equipo que desprenda calor. El aire circula de la fachada fría a la caliente porque el aire de la fachada caliente tiende a ascender.

También la ventilación natural puede producirse por la diferencia de presión del aire exterior sobre dos fachadas (orientación de las fachadas). Esto suele tener carácter esporádico e impredecible pero provoca también una ventilación natural, a veces perturbando los sistemas establecidos.

### 6.9.3. La ventilación forzada

Se puede establecer una ventilación forzada en un edificio industrial en los siguientes supuestos:

- Ventilación forzada por extracción de aire.
- Ventilación forzada por impulsión de aire.
- Ventilación forzada por extracción e impulsión de aire. Vamos a analizar brevemente cada una de ellas.

#### 6.9.3.1. Ventilación por extracción de aire

Este sistema suele complementar la ventilación natural. Consiste en disponer en la cubierta de los edificios extractores de aire junto con rejillas en la parte baja de las fachadas, que sean capaces de permitir la entrada de aire que extraen los extractores de la cubierta. Ver figura 6.20.

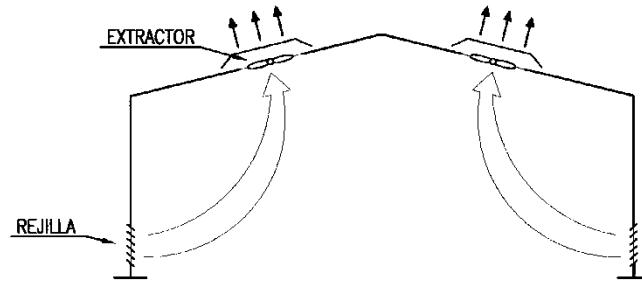


Figura 6.20

El inconveniente de este sistema, como todos los de ventilación forzada, es que conlleva un consumo energético que depende de las renovaciones de aire que queramos tener.

#### 6.9.3.2. Ventilación por sobrepresión

A veces conviene, por razones de las emisiones del proceso, invertir la posición de los ventiladores y las rejillas. También a veces conviene un ambiente de trabajo en ligera sobrepresión. Ver figura 6.21.

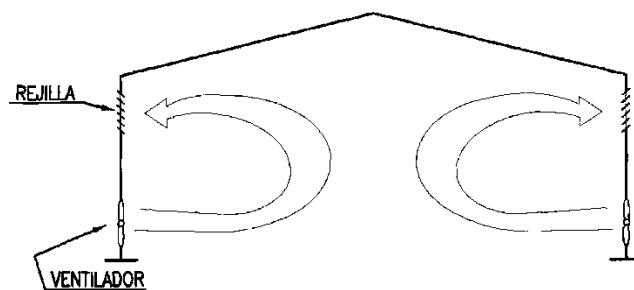


Figura 6.21

#### 6.9.3.3. Ventilación por sobrepresión y extracción simultáneas

Es necesario, a veces, que el aire que se introduce del exterior tenga un cierto tratamiento previo (humidificación, odorización, recalentado, etc.) de acuerdo con las necesidades del proceso de fabricación y de los puestos de trabajo. En estos casos se suelen combinar impulsiones de aire con extracciones simultáneas. En la figura 6.22 se indica un ejemplo.

El gran inconveniente, como decíamos, es el consumo energético.

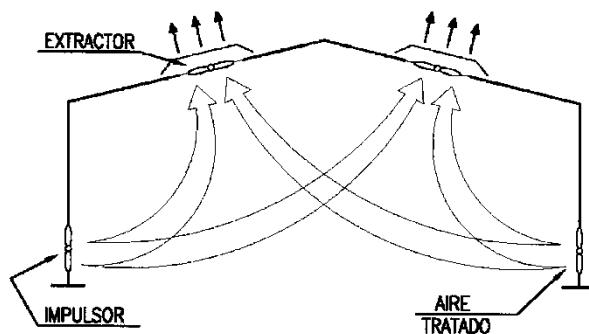


Figura 6.22

#### 6.9.4. Las renovaciones de aire

Las renovaciones de aire en un edificio industrial dependen de:

- Las emisiones que producen las máquinas o sistemas que realizan el proceso industrial.
- Las personas que ocupan los puestos de trabajo.
- Los requisitos de temperatura, humedad y velocidad del aire que se requieren.

Se indica en la tabla 6.6 una tabla con renovaciones de aire recomendadas.

Tabla 6.6

Tipo de local	Número de renovaciones de aire por hora (l/h)	Temperatura del aire del local (°C)	Humedad relativa del aire del local (%)
Talleres en general .....	3-8	12-18	50-60
Naves de montaje.....	4-10	10-15	55-65
Salas de medición y verificación.....	8-15	20-22	50-55
Instalaciones de proceso de datos (ver las indicaciones de los fabricantes).....	30 y más	16-32	20-80
Talleres de decapaje .....	5-15	16-22	85
Locales de pintura a pistola.....	20-50	22-25	55-65
Laboratorios.....	8-15	18-22	50-70
Aseos:			
en fábricas .....	8-10	15	40-60
en oficinas .....	5-8	18	40-60
Duchas .....	10-15	22-25	70-85
Guardarropas.....	4-6	15	40-60
Locales de trabajo .....	3-8	18-20	50-70
Oficinas.....	4-8	20	50-60
Bibliotecas, Archivos.....	4-8	15-18	40-60
Restaurantes.....	5-10	20	55
Cantinas .....	6-8	18	55
Cocinas grandes:			
h = 3 a 4 m .....	20-30	18	50-70
h - 4 a 6 m .....	8-15	18-22	50-70

## PREGUNTAS DE AUTOEVALUACIÓN

### Tema sexto

1. Indicar en qué aspectos la política de una empresa multinacional puede condicionar el diseño de las Plantas Industriales y los edificios de las plantas. Justificar la respuesta con algún ejemplo.
2. Indicar un ejemplo de aplicación de las Ordenanzas Municipales en el diseño de una Planta Industrial y sus edificios.
3. Indicar un ejemplo en el cual no se puedan utilizar materiales de construcción tradicionales en el diseño y construcción de una Planta Industrial. Indicar posibles vías de solución para cumplir plazos.
4. Analizar variaciones del TIR para variaciones en el porcentaje del inmovilizado en edificios industriales en la inversión de una Planta Industrial. Utilice casos límite y casos intermedios. Indique claramente qué hipótesis maneja para el cálculo del TIR.
5. Comente y critique las etapas propuestas para el diseño de un edificio industrial. ¿Son todas necesarias? Indicar un ejemplo.
6. Criticar la configuración estructural del edificio de la figura 6.4. Proponga alternativas de menor coste. Ver Anexo n.º 3, en el cual figura la implantación general de esta planta.
7. Comparar soluciones de cubiertas en dientes de sierra con soluciones de cubierta plana. Indicar ventajas e inconvenientes de ambas en una Planta Industrial propuesta por Vd. Explique claramente el ejemplo que proponga.
8. ¿Puede un equipo de fabricación de mucha altura condicionar todo el diseño en altura de un edificio industrial? Indicar y comentar ejemplos, así como situaciones que se pueden presentar.
9. Indicar por qué la elección de un módulo base puede representar una economía en el diseño y en la construcción de un edificio industrial. Indicar tres ejemplos.
10. ¿Qué significado puede tener el establecer proporciones adecuadas en un edificio industrial? ¿Cómo tendría en cuenta esto en el diseño de un edificio? ¿Tendrá relación con el incremento de costes?

11. ¿Qué problemas puede tener el diseño del alumbrado de una calle interior de una Planta Industrial? Indicar soluciones según las situaciones que se pueden producir.
12. Por favor, indique su opinión sobre las ventajas e inconvenientes de la iluminación natural y la iluminación artificial. Indique diferentes supuestos con ventajas e inconvenientes.
13. Comentar acerca de las iluminancias mínimas en edificios industriales. Realmente, qué se pretende en un puesto de trabajo y qué se pretende en una sala de reuniones. Influencias de los costes en los sistemas.
14. Comentar acerca de la iluminación natural en un edificio industrial en una determinada situación geográfica. ¿Los dientes de sierra son más eficaces en el ecuador o en lugares más cercanos al Polo Norte? Justificar la respuesta con un ejemplo.
15. Comentar acerca de la precisión del cálculo de la iluminación natural de un edificio industrial situado en un determinado paralelo. Indicar un ejemplo.
16. Indicar cuándo pueden ser adecuados los conductos de luz o la fibra óptica para iluminar un determinado local. Ejemplos representativos.
17. Comentar acerca de la contaminación que producen los trabajadores y la que producen las máquinas en un edificio industrial. Indicar ejemplos concretos y el modo de tratar el problema.
18. Indicar si se pueden producir problemas y de qué tipo por un excesivo número de renovaciones de aire en un local industrial. Señalar ejemplos.

# Tema 7

## El sistema estructural en los edificios industriales

### Presentación

En las Plantas Industriales, en general, hacen falta edificaciones que aíslen el ambiente interior donde se realiza la fabricación del ambiente exterior con condiciones climatológicas, en muchos casos adversas. El sistema estructural es el soportador de los elementos que constituyen estas edificaciones. Esto es válido para cualquier edificación de las que pueda tener una Planta Industrial. El sistema estructural es el encargado de soportar y transmitir las solicitudes exteriores (viento, nieve, sismo, etc.) y las solicitudes interiores producidas por las personas, por las máquinas o sistemas de transporte a las cimentaciones, y estas a su vez los transmiten al suelo de cimentación.

En el presente tema se describen los cuatro elementos a considerar: esfuerzos, sistema estructural, cimentación y suelo. Para una localización determinada y unas máquinas también determinadas, los esfuerzos y las características resistentes del terreno son los datos del problema; y las incógnitas son el sistema estructural y la cimentación.

Se tratan en el tema la selección de los sistemas estructurales (los sistemas isostáticos e hiperestáticos), los materiales estructurales y los criterios de selección de los mismos y, al final del tema, se exponen conceptos tan importantes como la flexibilidad en el uso de un sistema estructural, las juntas de dilatación, el pandeo de piezas esbeltas y los arriostramientos en sistemas estructurales metálicos.

Como colofón se trata el coste o la parte de la inversión que en una Planta Industrial significa el sistema estructural.

### Objetivos

- Definir cuáles son las funciones del sistema estructural.
- Exponer cómo el sistema estructural es uno de los elementos de un sistema de orden inferior y que no se puede considerar aisladamente en el diseño de un edificio industrial.
- Indicar cuáles son los tipos de sistemas estructurales existentes.
- Indicar cuáles son los criterios básicos para la elección de un sistema estructural.
- Indicar cuáles son los materiales estructurales que se utilizan en Plantas Industriales y los criterios de selección de los mismos.
- Exponer otras cuestiones fundamentales como la flexibilidad en el diseño, y otras.

- Exponer la influencia del coste de un sistema estructural en el conjunto de un edificio de una Planta Industrial.

## 7.1. EL SISTEMA ESTRUCTURAL. GENERALIDADES

En las Plantas Industriales, en muchos casos, hacen falta edificaciones que separen el ambiente exterior, con condiciones climatológicas adversas, del ambiente que se necesita para la realización de las operaciones unitarias del proceso de fabricación y para los puestos de trabajo necesarios. El sistema estructural es el soportador de todos los elementos que constituyen estas edificaciones. Igual sucede con una edificación que alberga servicios auxiliares, un edificio de servicios de personal o un edificio dedicado a servicios generales. El sistema estructural tiene la misión de soportar y transmitir las solicitudes exteriores y las interiores a las cimentaciones de los edificios, permitiendo movimientos de todas las partes de los edificios que sean admisibles para los fines funcionales para los que fueron diseñados y para el personal que ocupe los diversos puestos de trabajo.

En los edificios industriales, el sistema estructural canaliza todos los esfuerzos exteriores que actúan sobre los cerramientos y coberturas de los edificios (viento, nieve, efectos sísmicos), esfuerzos que puedan generar las variaciones térmicas, pesos propios, etc., así como los esfuerzos interiores, que puedan producir las máquinas que realizan el proceso de fabricación y los sistemas de transporte y los pesos propios de las materias primas, productos semielaborados y productos acabados. El sistema estructural soporta y transmite los citados esfuerzos a las cimentaciones, las cuales a su vez los transmiten al suelo de cimentación, es decir, a la zona de contacto entre las cimentaciones y el suelo propiamente dicho.

Así pues el esquema es el que se muestra en la figura 7.1 y figura 7.2.

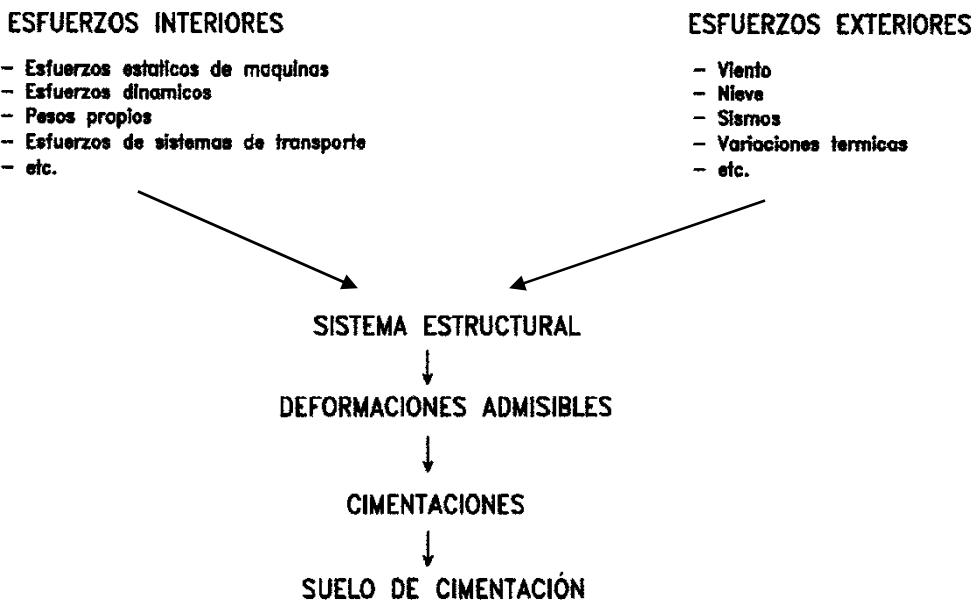


Figura 7.1

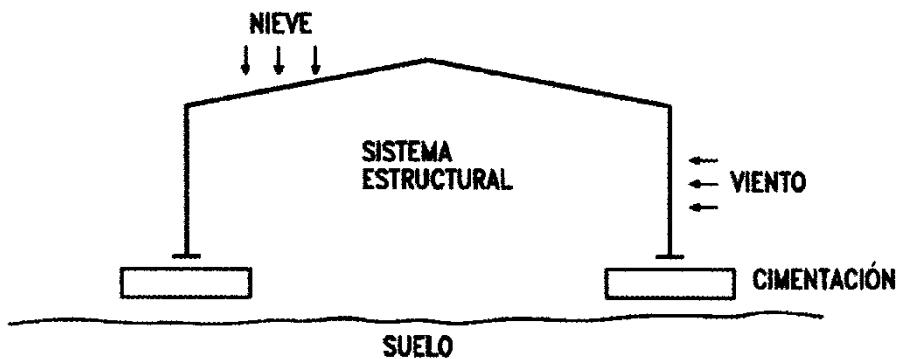


Figura 7.2

Resulta evidente que las cargas externas e internas, el sistema estructural, las cimentaciones y el suelo de cimentación, forman un sistema o conjunto de orden superior, que no permite por su interrelación tratar a cada uno de sus cuatro componentes por separado, sino que debe considerarse como un conjunto interrelacionado e inseparable.

Los datos del problema a resolver son los siguientes:

- Los esfuerzos interiores y exteriores que afectan al sistema estructural.
- El suelo de cimentación del lugar donde se asienta la edificación industrial.

Las incógnitas son:

- El sistema estructural más adecuado.
- La cimentación más adecuada.

Vamos a analizar los datos de que disponemos y las incógnitas que tenemos que despejar.

Los esfuerzos exteriores, vienen determinados en su mayor parte por la situación de la planta industrial. La normativa vigente determina, para cada situación y cota de implantación, los valores de estos esfuerzos. Los esfuerzos que llamamos interiores, porque se producen en el interior de los edificios, están motivados por los equipos de proceso y son el peso de las máquinas o equipos y los esfuerzos dinámicos que estas máquinas o equipos puedan generar. Se incluyen también los pesos propios de las estructuras, cerramientos y cubiertas, así como los esfuerzos producidos por los medios de transporte internos (especialmente los puentes-grúa), completan el conjunto de esfuerzos a considerar como datos del problema a resolver.

El suelo de cimentación del lugar donde se asienta el edificio industrial, viene determinado por su capacidad portante, que es una combinación de los esfuerzos que es capaz de soportar y las deformaciones que sufre para tales esfuerzos. Esto se verá con detalle en el tema siguiente.

Así pues, con estos datos del problema, como indicábamos antes e insistimos ahora, las incógnitas serán el sistema estructural y la cimentación. Resulta que para cada sistema estructural habrá una cimentación adecuada y para cada cimentación habrá un sistema estructural adecuado. Está claro que este problema admite infinitas soluciones de las cuales debemos elegir una que sea la mejor o la menos mala. Aquí debemos hacer entrar en juego criterios de seguridad y también criterios económicos de soluciones conjuntas de sistemas de cimentación-estructuras, considerando además que los plazos de diseño y de realización tienen un componente económico muy importante. No debemos olvidar, a la hora de ponderar su importancia, que estas partidas forman partes del inmovilizado, que además suele ser difícilmente recuperable para otros usos en una planta industrial y con periodos de amortización que pueden llegar a los veinte años, salvo que se prevea una vida menor para la planta industrial.

Al llegar a este punto nos podríamos plantear a cuál de los dos grandes datos del problema deberemos dar más importancia, es decir a los esfuerzos o al suelo de cimentación, siempre en el supuesto de que no tenemos acciones para hacer variar estos datos, salvo cambiar máquinas o cambiar la ubicación de la planta industrial. Hay un ejemplo de cambio de ubicación porque la cimentación era muy cara en una planta industrial, fue el caso de la planta de automóviles en España, que en principio se iba a implantar en el sur y luego se localizó en Levante.

La pregunta anterior no tiene respuesta y únicamente podemos, para optimizar el resultado atenemos a considerar una serie de criterios, que nos puedan guiar en las decisiones.

No obstante, según lo anterior, parece que los sistemas adecuados de cimentación suelen estar más condicionados a los tipos de suelos que las estructuras a las cargas que reciben y transmiten. Esto quiere decir que deberíamos iniciar la búsqueda de soluciones estructurales a partir de soluciones preconcebidas de cimentaciones. Lo anterior será tanto más cierto cuanto más claro sea establecer con certeza el sistema de cimentación más adecuado para un determinado tipo de suelo, es decir, podemos tener un determinado suelo de cimentación que nos obligue por sus características a una cimentación por pilotes de hinca de una forma muy clara y rotunda. Pues bien, este será el punto de partida para llegar a definir el sistema estructural. Sin embargo, si tenemos dudas sobre cuál es la cimentación más adecuada (por ejemplo, losas o zapatas unidas por vigas de atado), en este caso debemos pasar a analizar cuál debe ser el conjunto de cimentación estructura que nos interesa más.

## 7.2. SELECCIÓN DE SISTEMAS ESTRUCTURALES

Antes de entrar en cómo se selecciona un sistema estructural, vamos a intentar clasificar los sistemas estructurales con el ánimo de ver más claramente las posibilidades de opción que tenemos. Hay dos formas de clasificar, al menos, los sistemas estructurales según estén concebidos y considerados espacialmente o por su grado de estaticidad.

Realmente todas las estructuras que cubren un determinado volumen, como es el caso de los edificios industriales, son estructuras espaciales, es decir, tienen componentes o barras en las tres dimensiones X, Y, Z.

Ocurre en la mayor parte de los casos que predominan los elementos principales de la estructura en un solo plano X, Y y que los elementos en el eje Z tienen una menor transcendencia en soportar y transmitir esfuerzos, por lo cual, podemos considerarlas como estructuras planas. Esto realmente es una simplificación que, normalmente, no acarrea errores importantes en cuanto a las condiciones resistentes, pero simplifica mucho los métodos de cálculo de estructuras que se aplican normalmente.

La primera pregunta que nos debemos hacer es si queremos una estructura espacial para asimilarla a una estructura plana o realmente queremos una estructura espacial.

En la figura 7.3 se muestra una estructura realmente espacial que se puede asimilar a una estructura plana.

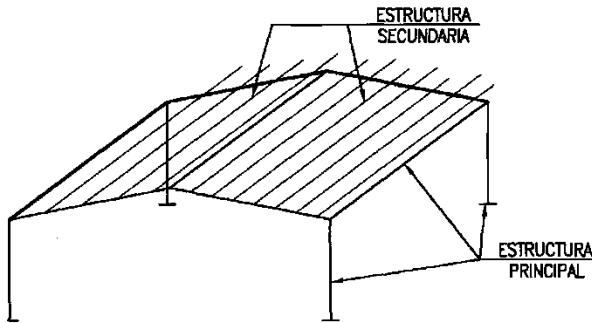
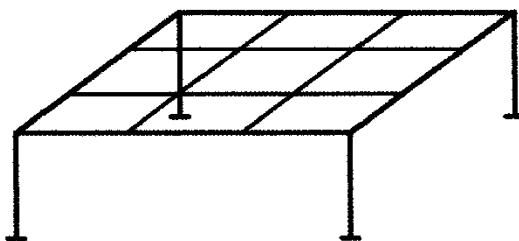


Figura 7.3

En la figura 7.4 se muestra una estructura espacial no asimilable a una estructura plana. Las cargas están en un plano perpendicular al plano de la estructura.



**ESTRUCTURA ESPACIAL**

Figura 7.4

En una estructura que queramos asimilar a plana, las cargas deben estar situadas en el plano de la estructura.

Insistimos que en la mayor parte de los casos vamos a sistemas de estructuras planas, con cargas actuando en el plano de la estructura.

En ambos casos mencionados de estructuras planas o espaciales, otra clasificación es la de proyectar estructuras estáticamente determinadas o estructuras estáticamente indeterminadas.

Para simplificar nos vamos a referir a estructuras planas con cargas únicamente en el mismo plano de la estructura.

Una estructura estáticamente determinada es una estructura que puede ser analizada mediante los principios de la estática, en la cual la supresión de cualquiera de sus ligaduras conduce al colapso. Se conocen como estructuras isostáticas. Al decir que puede ser analizada, significa que podemos saber las solicitudes que sufre cada pieza de la estructura en cada una de sus partes, con solo aplicar las ecuaciones de la estática. En las figuras 7.5, 7.6, y 7.7 se muestran tres casos de estructuras isostáticas.

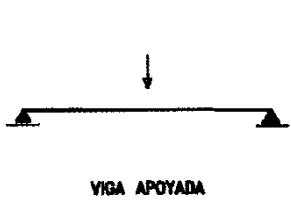


Figura 7.5

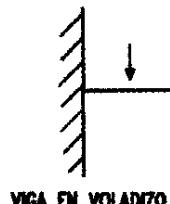


Figura 7.6

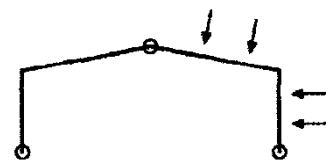
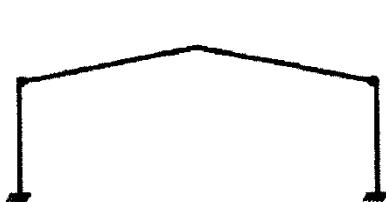


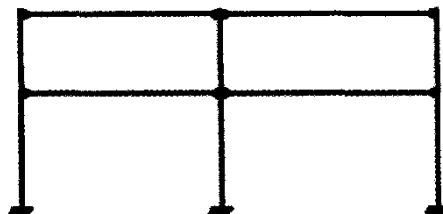
Figura 7.7

También podemos proyectar una estructura estáticamente indeterminada, que es una estructura que necesita más elementos de los necesarios para mantenerse estable. La supresión de alguno de estos elementos no conduce al colapso pero modifica los esfuerzos de cada uno de los elementos que constituyen la estructura. Estas estructuras reciben el nombre de hiperestáticas. En las figuras 7.8 y 7.9 se muestran dos estructuras hiperestáticas.



PÓRTICO EMPOTRADO

Figura 7.8



PÓRTICO MÚLTIPLE EMPOTRADO

Figura 7.9

Vamos a profundizar un poco más en estos aspectos de isoestaticidad e hiperestaticidad, refiriéndonos, como indicábamos antes, al caso más común de estructura plana con cargas situadas en el mismo plano. Las figuras 7.10 y 7.11 se refieren a esta premisa.

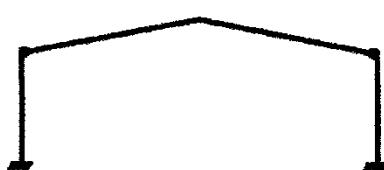


Figura 7.10

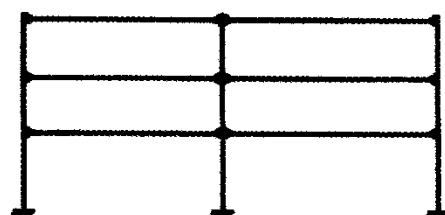


Figura 7.11

Cuando la estructura incluye, como el caso de la figura 7.11, cuadros o marcos cerrados, recibe el nombre de sistema plano reticulado en el que los nudos o extremos de las barras son en general rígidos, experimentando desplazamientos y giros en el plano originados por las cargas aplicadas, que serán distintos a los que experimentarían los extremos de cada barra si se la considera aislada (a los nudos rígidos se les llama también empotramientos elásticos).

La resolución tanto de los problemas estructurales espaciales, como los correspondientes a los sistemas planos, se pueden, hacer por dos procedimientos siguientes:

- Considerar como incógnitas los desplazamientos experimentados por los nudos (tres en el caso de estructura plana), y una vez obtenidos sus valores, determinar los esfuerzos internos ( $N$ ,  $C$ ,  $M$ ) en equilibrio con los extremos de las barras: es el procedimiento que se sigue cuando se utiliza el método de equilibrio o de los desplazamientos.
- Considerar que las incógnitas son las correspondientes a las ligaduras en exceso (reacciones en apoyos o componentes de los esfuerzos internos en los marcos cerrados) y tras su determinación, obtener los desplazamientos de los nudos de la estructura, compatibles con los mismos. Este procedimiento es el utilizado cuando se aplica el método de las fuerzas o de compatibilidad.

Si se utiliza este último método, es necesario determinar el grado de hiperestaticidad del sistema, que se define como el número de incógnitas en exceso sobre las ecuaciones de la estática (tres en el plano).

Debe distinguirse entre hiperestaticidad externa e interna, correspondiendo la primera al caso en que la suma de la reacciones en los vínculos o apoyos (que corresponden a los movimientos que estos impiden) supera al número de ecuaciones de la estática, mientras que la hiperestaticidad interna se refiere al exceso entre los desplazamientos mutuos impedidos, entre dos secciones adyacentes de un contorno cerrado y el número de ecuaciones de la estática.

En la figura 7.12 se muestra un sistema plano exteriormente isostático (existen tres reacciones en los apoyos), en el que la hiperestaticidad externa es de grado tres (se impiden tres desplazamientos mutuos entre dos secciones infinitamente próximas del contorno cerrado, siendo desconocidas las componentes de los esfuerzos internos  $N$ ,  $C$ ,  $M$  en dichas secciones). La figura 7.13 corresponde a un sistema isostático internamente y externamente, pues el marco está abierto en la sección C.

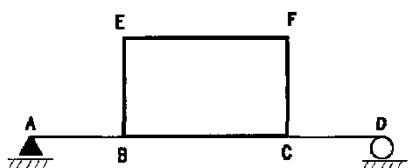


Figura 7.12

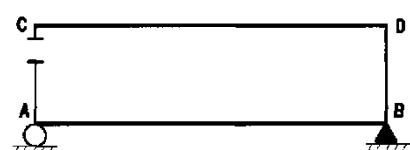


Figura 7.13

Cuando en una sección de una barra de un sistema hiperestático se dispone una articulación (figura 7.14), disminuye en una unidad el grado de hiperestaticidad, ya que se impone la condición de permitir el giro relativo entre las dos partes en que dicha articulación divide a la pieza, por lo que el momento resultante de los esfuerzos internos o internos que actúan a un lado u otro de dicha sección respecto a la misma ha de ser nulo. Si la articulación se dispone en un nudo de la estructura, equivale a la existencia de tantas articulaciones como barras incidentes en el mismo menos una, como se indica en la figura 7.15 (una articulación en un nudo con tres barras concurrentes equivale a dos articulaciones).



Figura 7.14



Figura 7.15

Si llamamos  $m$  al número de apoyos articulados móviles dispuestos en una estructura plana,  $f$  al de apoyos articulados fijos,  $e$  al de empotramientos,  $c$  al de marcos o contornos cerrados y  $a$  al de articulaciones, el grado de hiperestaticidad  $G-H$  de la misma es:

$$G-H = m + 2e + 3c - a - 3$$

En la estructura representada en la figura 7.16 el grado de hiperestaticidad es:

$$G-H = 2 \times 2 + 3 \times 2 + 3 \times 6 - 5 - 3 = 20$$

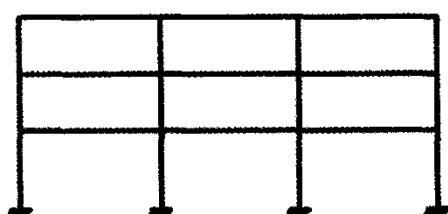


Figura 7.16

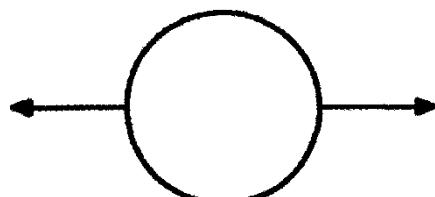


Figura 7.17

Mientras que el marco de la figura 7.17 en grado de hiperestaticidad es:  $G-H = 3$ .

En general, puede decirse que es más utilizado el método de los desplazamientos que el de las fuerzas, puesto que como decíamos en el primero se consideran como incógnitas los movimientos que realmente experimentan los nudos, mientras que en el segundo es necesario establecer arbitrariamente cuáles son las incógnitas hiperestáticas,

lo que exige determinar previamente el grado de hiperestaticidad, siendo posible, como hemos visto, establecer distintos sistemas base.

En cualquier caso, la resolución de los problemas estructurales conduce al establecimiento de un sistema de  $n$  ecuaciones con  $n$  incógnitas, cuya solución exige, como se indica en los tratados de cálculo de estructuras, invertir una matriz de coeficientes de dichas incógnitas que recibe el nombre de matriz de rigidez (método de los desplazamientos) o matriz de flexibilidad (método de las fuerzas), tanto si se busca la solución exacta como si se persigue una solución suficientemente aproximada, mediante la utilización de alguno de los métodos numéricos que permiten resolver este tipo de problemas, entre los que destaca el Método de los Elementos Finitos. Indicamos que los procedimientos informáticos han hecho posible esto.

No podemos dejar de hacer una referencia a los sistemas estructurales planos de nudos articulados.

Si nos encontramos con una estructura hiperestática del grado que sea para hacer el análisis de los esfuerzos, tanto utilizando el método de los desplazamientos como el de los esfuerzos, hay que realizar antes un predimensionamiento de todas las barras de la estructura. El cálculo nos lleva exclusivamente a comprobar que el predimensionamiento es correcto o no. Si no lo es, debemos hacer un nuevo predimensionamiento y así tantas veces como sea necesario, hasta conseguir que todas las barras trabajen correctamente en todas las hipótesis de combinación de esfuerzos que hagamos.

Si todos los nudos son articulados, y tanto la sustentación exterior como las características de la retícula hacen imposibles los desplazamientos como cuerpo rígido de la estructura, existen muchos casos en que esta es isostática, no siendo necesario en este supuesto, proceder al dimensionamiento previo de la estructura.

El estudio de estas estructuras se realiza de acuerdo con las siguientes hipótesis:

1. Las barras se encuentran todas en el mismo plano y están articuladas en los nudos sin rozamiento.
2. Todas las cargas actúan en los nudos y se encuentran en el mismo plano de la estructura.

Como consecuencia de estas dos hipótesis, se deduce que las barras solo pueden trabajar a tracción o a compresión.

3. Todas las barras son rectas.

4. Se consideran invariables las direcciones de las barras y las reacciones al establecer las condiciones de equilibrio, sin verse afectadas por las pequeñas deformaciones elásticas del sistema.

De los sistemas estructurales de nudos articulados, los más utilizados son los de retícula triangular, que se establecen a partir de un triángulo.

En las figuras 7.19, 7.20, 7.21, y 7.22 se indican diferentes estructuras triangulares, que se utilizan como jácenas en estructura de cubiertas. En todos los casos indicados son estructuras isostáticas que no necesitan dimensionamiento previo.



Figura 7.19

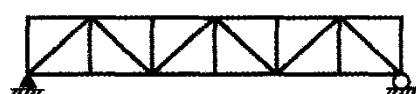


Figura 7.20

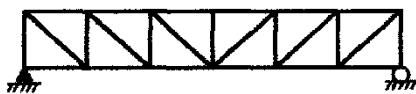


Figura 7.21

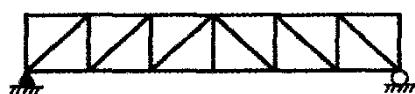


Figura 7.22

Como conclusión, la pregunta que nos debemos hacer es qué sistema estructural debemos elegir, es decir, si debemos elegir un sistema estructural isostático o un sistema hiperestático o un sistema en celosía en el cual admitimos, a priori, que todas las barras trabajan a tracción o a compresión. Aquí deben entrar en juego las características del suelo de cimentación, es decir, su capacidad portante.

Podemos establecer que una estructura hiperestática para realizar la misma función que una estructura isostática, pesa menos y, por tanto, podemos reducir los esfuerzos del peso propio a la vez que se puede obtener un menor coste, ya que los kilogramos de estructura son menores. Aun puede pesar menos una estructura triangulada de celosía y puede aun costar menos que las anteriores salvo que el coste de mano de obra de fabricación sea muy alto o la estructura sea muy complicada. En este caso, a veces, como los elementos estructurales (barras) son delgados puede afectarles a medio plazo la corrosión.

Por otro lado, en estructuras isostáticas o estructuras de celosía, que se pueden tratar como isostáticas, podemos obtener todos los esfuerzos ( $N$ , y  $C$ ) en todos los puntos de la estructura y, por tanto, a partir de los mismos, realizar el dimensionamiento de todas las barras. En el caso de estructuras hiperestáticas, los esfuerzos que sufre cada barra para un sistema de cargas dado dependen de la flexibilidad de la barra. Dicho de otro

modo, los momentos de inercia de las barras condicionan los esfuerzos que tienen que soportar. A mayor flexibilidad, los esfuerzos a soportar serán menores.

Por otra parte, como decíamos, la capacidad portante del suelo de cimentación, a la cota que estemos considerando, tendrá una gran influencia a la hora de determinar el sistema estructural. Si se prevén asentamientos diferenciales, el utilizar estructuras hiperestáticas puede incrementar los esfuerzos en las barras y llegar al colapso de las estructuras. En la figura 7.23 se muestra una estructura hiperestática con asentamientos diferenciales de sus apoyos.

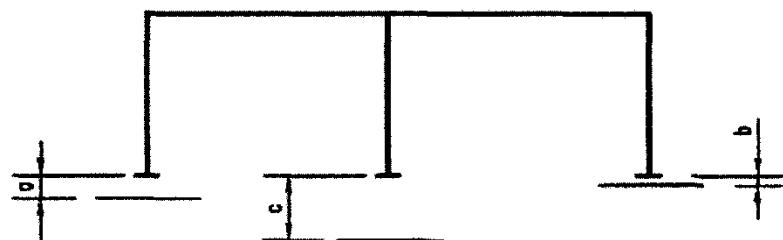


Figura 7.23

La diferencia de asentamientos en los apoyos produce tensiones adicionales en las barras de una estructura hiperestática.

Si lo que tenemos es un arco de tres articulaciones isostático, los diferentes asentamientos en los dos apoyos no incrementan las tensiones en ninguna de las barras.

Figura 7.24.

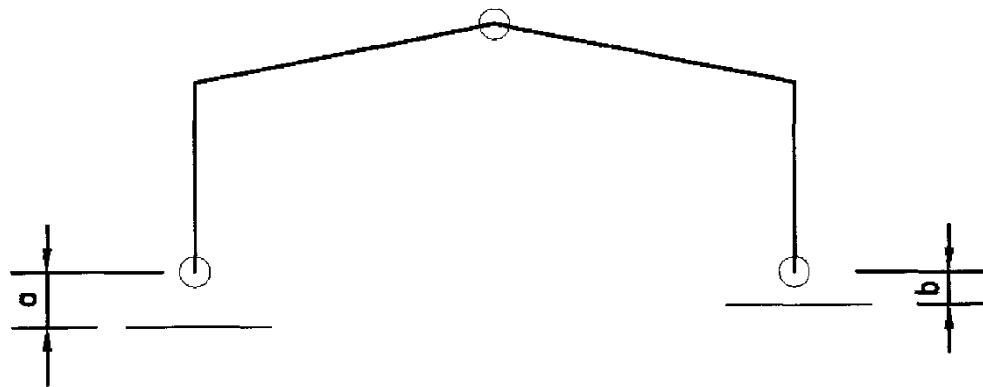


Figura 7.24

### **7.3. MATERIALES ESTRUCTURALES**

En este apartado, al hablar de materiales estructurales, nos referimos al material de que están hechas las piezas que constituyen las estructuras: es decir, los soportes y las barras de las mismas. La estructura debe ser capaz de soportar los esfuerzos, que con motivo de las cargas exteriores e interiores tiene la estructura.

Los materiales estructurales más usados en edificación industrial son:

- Materiales pétreos.
- Hormigón armado realizado in situ con encofrados.
- Hormigón armado prefabricado realizado en taller.
- Hormigón pretensado o postesado realizado en taller.
- Materiales metálicos. Acero.
- Materiales metálicos. Aluminio.
- Maderas naturales o en láminas con pegamento.

#### **7.3.1. Materiales pétreos**

Los materiales utilizados para realizar sistemas estructurales de poca importancia son el ladrillo y los bloques de hormigón.

Las fábricas de ladrillo tienen buenas características de resistencia a la compresión, aunque esta resistencia depende al final del mortero con que está hecha la fábrica. Actualmente, la fábrica de ladrillo, más que utilizarse como elemento estructural, se considera como elemento de cerramiento, para separar ambientes.

Igual ocurre con las fábricas de bloques de hormigón, cuya única ventaja frente al ladrillo es su menor coste tanto de adquisición como de montaje de la fabrica. Los metros cuadrados de mortero por metro cuadrado de pared son mucho menores que en el caso del ladrillo.

Tanto en el caso de las fábricas de ladrillo como en el caso de las fábricas de hormigón, se pueden utilizar para actuar como zócalos hasta 1,5 metros de altura o similar en los cerramientos de fábricas y que a partir de la altura indicada son realizados en chapa galvanizada o lacada con aislamiento.

### **7.3.2. El hormigón armado**

Dado que el hormigón suele tener alrededor de diez veces menos de resistencia a la tracción que a compresión, es necesario armarlo con barras de acero, para atenuar esta diferencia de resistencias a tracción y a compresión. Lo que hacemos en las zonas donde el condición a cumplir por un material estructural es que cualquier punto de la hormigón está sometido a esfuerzos de tracción o cortantes es situar unas armaduras de acero capaces de absorber dichas tracciones (esto es viable porque prácticamente los coeficientes de dilatación del hormigón y del acero son iguales), esto lo podemos hacer en obra o en taller, como sería el caso del hormigón armado prefabricado.

Si construimos una estructura de hormigón armado in situ, será necesario utilizar encofrados dado que el hormigón realiza su fraguado en aproximadamente 28 días. Si realizamos esta operación se pueden reducir los tiempos de fraguado. En ambos casos, con el transcurso del tiempo el hormigón aumenta su resistencia.

Los encofrados in situ suelen ser de madera o de materiales plásticos y los encofrados en taller suelen ser metálicos o incluso también de materiales plásticos, lo cual para múltiples utilizaciones representa un coste menor.

La gran ventaja del hormigón armado prefabricado sobre el hormigón armado in situ es la disminución de los plazos de ejecución de las obras, así como del coste. Actualmente el hormigón armado prefabricado tiene una gran aceptación, precisamente por el acortamiento de los plazos de entrega, ya que las esperas por el fraguado solo afectan a las uniones de piezas.

### **7.3.3. Hormigón pretensado o postesado**

Precisamente, para compensar la poca resistencia a la tracción del hormigón, en lugar de barras de acero, como hacíamos en el hormigón armado, lo que se hace es introducir unos cables de acero en las zonas que van a estar sometidas a tracción, que se tensan al construir la pieza (hormigón pretensado) o se tensan cuando la pieza esta fraguada con cables que se anclan a los extremos (hormigón postesado).

Este tipo de hormigón es prefabricado en taller con moldes metálicos generalmente y sirve para estructuras de grandes luces, incluso competitivas con las luces que puede cubrir una estructura metálica.

Uno de los problemas que pueden tener estas estructuras pre o postensadas es la relajación de las propiedades resistentes de los cables, que puede obligar a retensar las

estructuras postensadas o incluso puede afectar la corrosión como sucede en caso de los postes de las líneas eléctricas.

#### **7.3.4. Materiales metálicos. Acero**

El acero es el material por excelencia para la construcción de edificios industriales. La característica principal es su gran resistencia a los esfuerzos de tracción y de compresión, y por tanto a los esfuerzos de flexión.

Presenta las ventajas básicas siguientes:

- Las secciones que se necesitan son pequeñas, comparadas con las equivalentes en resistencia de hormigón armado o pretensado.
- Se pueden prefabricar las piezas en taller.
- Es apto para cualquier sistema estructural (isostáticos, hiperestáticos, de celosía).
- Es adecuado para grandes luces.
- Permite plazos de construcción cortos.

Presenta también el inconveniente de su resistencia al fuego, circunstancia que puede ser muy importante en plantas industriales. También otro inconveniente puede ser que frente a cargas dinámicas puede sufrir deformaciones inadmisibles por problemas de resonancia. También en situación únicamente de cargas estáticas hay que cuidar las flechas que se puedan producir.

A veces para grandes luces se pueden utilizar estructuras mixtas de acero- hormigón utilizando lo mejor de los dos materiales.

#### **7.3.5. Materiales metálicos. Aluminio**

Se utiliza para cobertura de grandes luces, mucho mayores que en caso del acero, por su menor peso propio. Es poco frecuente su utilización en construcciones industriales.

#### **7.3.6. Madera**

Las estructuras de madera se utilizan en construcciones deportivas y prácticamente nada en construcciones industriales.

### **7.4. CRITERIOS PARA LA ELECCIÓN DEL MATERIAL ESTRUCTURAL**

Parece conveniente anteponer lo siguiente:

- Las estructuras de hormigón armado in situ, por su propia naturaleza y por la rigidez de sus nudos son estructuras hiperestáticas, es decir, muy sensibles a los asientos diferenciales de la cimentación.

- Las estructuras de hormigón armado prefabricado, podemos dotarlas de movimientos en los nudos, lo cual puede darles una mayor isostaticidad.
- Las estructuras de hormigón pretensado o postensado son generalmente isostáticas en la construcción de edificios industriales (piezas planas de cubierta).
- Hacemos otra vez referencia a las estructuras mixtas de acero-hormigón con conectores para que trabajen solidariamente el acero y el hormigón. Son aptas para grandes luces.
- Las estructuras metálicas son aptas para cualquier situación de cargas y luces.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, indicamos a continuación los criterios básicos para la elección del material estructural:

- a) Si el plazo de ejecución de que disponemos es muy corto, la estructura más adecuada será metálica o de hormigón prefabricado.
- b) Si las luces de la estructura son grandes (15/20 metros o más), las estructuras deberán ser metálicas o de hormigón postensado.
- c) Si las luces son medianas (hasta 15 metros) la estructura podrá ser de hormigón in situ o prefabricado. Si el riesgo de incendio es grande (alta carga de fuego), la estructura deberá ser de hormigón armado.

Las estructuras metálicas incluso recubiertas y las estructuras de hormigón pretensado tienen menor resistencia al fuego.

- d) Si se prevén vibraciones, motivadas por esfuerzos dinámicos, es recomendable una estructura de hormigón armado in situ o prefabricada hiperestática.

## **7.5. OTRAS CUESTI ONES A TENER EN CUENTA EN LOS SISTEMAS ESTRUCTURALES**

Vamos a analizar una serie de cuestiones que también tienen una gran influencia en el sistema estructural de un edificio industrial y que hay que cuidar especialmente en la fase de diseño de tales edificios. Se exponen a continuación.

### **7.5.1. Flexibilidad en el diseño del edificio industrial**

Es evidente que lo más difícil de cambiar, si variamos la configuración geométrica de un edificio industrial, es la estructura del edificio, es decir, el sistema estructural.

¿Cuáles pueden ser las causas de un cambio en la configuración de un edificio? Básicamente hay dos causas principales:

- Que haya que ampliar el edificio porque nos encontramos con una ampliación de la producción o de los servicios auxiliares o de ambas y necesitamos instalar

nuevos equipos de proceso o sistemas, que no tienen por qué ser como los actuales.

- Que haya que cambiar total o parcialmente el proceso de fabricación del producto que fabricamos o porque tengamos necesidad de cambiar de producto a fabricar, y esto nos conduce también a tener que cambiar la configuración del edificio.

Aunque evidentemente no es fácil prever cuándo diseñamos una fábrica los posibles cambios que se pueden producir en el futuro, debemos tenerlos en cuenta en la medida de lo posible y, sobre todo, lo que siempre podemos hacer es ir a sistemas estructurales flexibles que nos permitan hacer los cambios en la configuración de los edificios con el menor trastorno e inversión. El ejemplo de la fábrica que se muestra en el Anexo 3 es significativo porque para su ampliación solo hubo que aumentar varios módulos estructurales (pórticos principales) y desmontar y volver a montar la fachada este, que se había diseñado desmontable atornillada, a la vez que se aumentaba la cobertura en la misma proporción. La fábrica siguió funcionando durante todo el periodo de ampliación, que además fue muy corto.

### **7.5.2. Las juntas de dilatación**

En todas las edificaciones se deben prever juntas de dilatación para permitir la expansión y contracción de los materiales, sin que se presenten grietas o roturas, al presentarse variaciones de temperatura. La función de las juntas de dilatación es partir una edificación en varias partes de menor longitud, de tal manera que las contracciones y expansiones reduzcan los acortamientos y alargamientos absolutos de las diferentes partes. Si no absorbiéramos las dilataciones y contracciones en las juntas de dilatación se producirían esfuerzos de origen térmico que producirían roturas en las partes más débiles de los sistemas (es una de las causas principales de las grietas).

Según lo anterior, hay que colocar las juntas de dilatación separadas según el material estructural que estemos considerando, teniendo en cuenta que debemos ser generosos y situarlas más próximas, porque de este modo evitaremos tensiones estructurales de origen térmico.

Podemos establecer con carácter general que las distancias máximas de separación entre juntas de dilatación deben de ser las siguientes:

Para fábricas de ladrillo o bloques de hormigón.....menos de 12 metros.

Para estructura de hormigón armado ..... menos de 25 metros.

Para estructuras metálicas.....menos de 40 metros.

Las juntas de dilatación nos pueden obligar a la duplicación de soportes estructurales, situación que siempre es aconsejable en las uniones de dos estructuras con distinto nivel de rigidez.

En cuanto al tamaño de la junta, lo aconsejable es que tengan un ancho máximo de 3 cm y un ancho mínimo de 1,5 cm.

### 7.5.3. Los esfuerzos de compresión en piezas esbeltas

Se puede dar un fenómeno de pandeo en piezas metálicas de pequeña sección sometidas a compresión. Esto puede ocurrir en soportes verticales sometidos fundamentalmente a compresión o en vigas de alma llena, de alma delgada. La solución es romper la longitud de pandeo arriostrando las piezas que puedan estar comprometidas. Ver figuras 7.25 y 7.26.



Figura 7.25

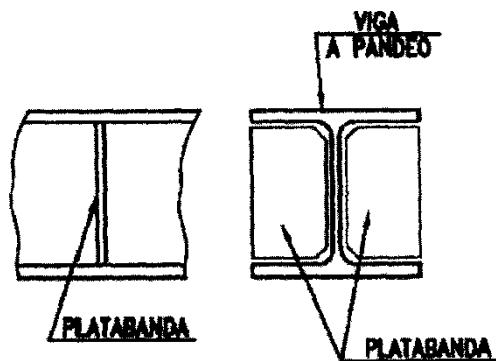


Figura 7.26

### 7.5.4. Los arriostramientos

Estamos considerando, a efectos de simplificar, que las estructuras sean planas con cargas en su plano, como indicábamos antes. Sin embargo, esto no es cierto porque se puede producir un efecto dominó entre los diferentes pórticos, lo cual hace necesario arriostrar en el plano perpendicular a los pórticos que constituyen la estructura principal. En naves industriales con puente grúa se producen esfuerzos producidos por los frenados de los puentes grúa que se pueden evaluar en función de los coeficientes de rozamiento. Estos esfuerzos son perpendiculares a los pórticos principales y ejercitan una función igual que los arriostramientos. En la figura 7.27 se indican los arriostramientos en cubierta y en fachada de un edificio industrial, que deben disponerse entre cada dos juntas de dilatación.

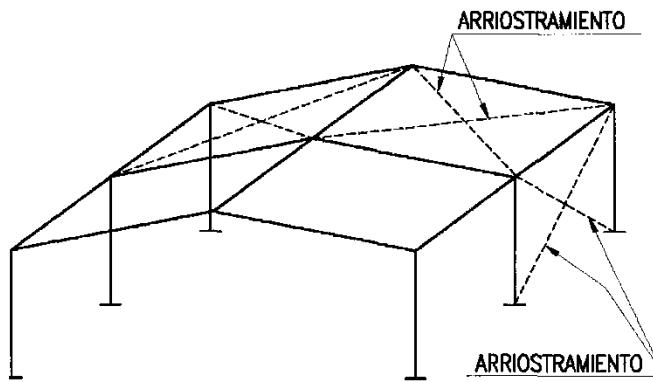


Figura 7.27

### 7.5.5. El coste de los sistemas estructurales y su influencia en la edificación industrial

No quiero acabar este capítulo sin hacer algún comentario acerca del coste de los sistemas estructurales dentro del conjunto de la planta industrial.

El presupuesto de una planta industrial podría ser:

- Equipo de proceso y de servicios auxiliares: 60% del presupuesto.
- Obras civiles y edificaciones: 30% del presupuesto.
- Instalaciones en las edificaciones: 10% del presupuesto.

Del capítulo de obras civiles y edificaciones, las estructuras pueden representar en torno al 20%, es decir, representan el 6% del total. Igualmente sucede con las cimentaciones, que pueden representar el 4,6% del total del presupuesto. Incluso en situaciones más extremas, los sistemas estructurales será muy difícil que representen más del 10% de la inversión.

La anterior distribución presupuestaria nos está indicando en forma porcentual dónde debemos aplicar nuestros esfuerzos y en qué cuantía. Imaginemos que queremos bajar, si fuera posible, el peso de una estructura metálica un 10%. Con esto, según lo anterior, estaríamos bajando el coste entre un 0,6% y un 1%, y estaríamos dedicando al asunto un tiempo que sería el que tendríamos que ampliar al periodo de diseño o de construcción.

Probablemente los intereses del dinero invertido o el propio lucro cesante son mayores que el coste del ahorro en kilos de estructura metálica. Y además la estructura sería más esbelta y aumentaría las vibraciones.

Esto lo indico porque hay una tendencia a caer en estas trampas a favor de un mayor lucimiento que no conduce a nada práctico.

## PREGUNTAS DE AUTOEVALUACIÓN

### Tema séptimo

1. Explicar si puede haber Plantas Industriales sin edificaciones o con edificaciones mínimas. ¿Cuál serían estas edificaciones? Indicar varios ejemplos concretos.
2. Indicar cuál es la función que debe cumplir un sistema estructural. Explicar la función de un sistema estructural en un edificio de proceso de varias plantas, con equipos que provocan esfuerzos dinámicos. Indicar varios ejemplos.
3. Indicar qué entiende Vd. por la estructura más adecuada con la cimentación más adecuada en un edificio de proceso de una Planta Industrial. Indicar un ejemplo. ¿Cómo podría asegurar lo anterior en un edificio proyectado por Vd.?
4. ¿Cuál serían los criterios a tener en cuenta para elegir una estructura isostática o una estructura hiperestática para un edificio de una Planta Industrial?
5. ¿Cuándo sería adecuado realizar un edificio industrial con arcos de tres articulaciones? Indicar ejemplos.
6. Comentar la importancia que pueden tener las vibraciones en una estructura de un edificio industrial. ¿Cómo se pueden evitar?
7. ¿En qué supuestos se pueden producir vibraciones no admisibles en la estructura de un edificio industrial? ¿Qué puede suceder en periodos de arranque de grandes máquinas situadas en el interior de los edificios?
8. Indicar las ventajas más destacadas de utilizar hormigón prefabricado en taller sobre el hormigón hecho in situ con encofrados.
9. ¿Puede la carga de fuego de un edificio condicionar su sistema estructural? Indicar ejemplos.
10. ¿Qué ventajas puede presentar el hormigón pretensado o postensado sobre el hormigón armado? Indicar ejemplos.
11. ¿Por qué el hormigón pretensado no es aconsejable en estructuras hiperestáticas? Indicar ejemplos.
12. Indicar por qué es más flexible a efectos de ampliaciones y modificaciones de un edificio industrial una estructura metálica que una de hormigón.
13. ¿Por qué se dan recomendaciones sobre distancias entre juntas de dilatación en estructuras hechas con diferentes materiales? En el caso de estructuras metálicas por qué conviene duplicar pilares o soportes.

14. ¿Cómo se rompe la longitud de pandeo en una guía de ascensor y cómo se rompe en una viga metálica prefabricada con chapa? ¿Por qué pueden pandear?
15. Explicar la razón de ser de un arriostramiento en un edificio industrial. Indicar ejemplos con y sin puentes grúa.
16. ¿En qué supuestos convendría hacer esfuerzos de cálculo adicionales para ahorrar peso en la estructura metálica de un edificio industrial?

## Tema 8

### Las cimentaciones del edificio industrial

#### Presentación

El propósito de este tema es dar los conocimientos necesarios para establecer cómo se evalúan las características resistentes de un terreno de cimentación, teniendo en cuenta estas características y las cargas que la estructura transmite al terreno; determinar cuál es el sistema de cimentación más adecuado en cada caso. Se trata de indicar los conceptos fundamentales, y en ningún caso se trata de enseñar a calcular cimentaciones (objeto de otras asignaturas), tanto de edificaciones como de máquinas. Estamos en el diseño como labor previa al cálculo. El contenido de este tema se puede completar con el Documento Básico SE-C. Seguridad Estructural. Cimientos.

#### Objetivos

- Describir los sistemas de cimentación de uso más corriente en edificios industriales.
- Estudiar los terrenos de cimentación a través de los ensayos más comunes.
- Estudiar el comportamiento mecánico de un suelo en cuanto a resistencia y deformabilidad. Estudio de la resistencia de un suelo frente a un sistema de cargas.
- Estudiar las características funcionales de las estructuras en su unión con las cimentaciones. Análisis de los tipos de apoyos.
- Descripción de los diferentes sistemas de cimentación y sus características fundamentales.
- Estudio preliminar de las cimentaciones especiales de máquinas. Estudio de los esfuerzos.

## **8.1. DEFINICIONES Y SISTEMAS DE CIMENTACIÓN**

Se conoce por cimentaciones a las partes de un sistema estructural dedicadas a transmitir al terreno los esfuerzos producidos por el viento, nieve, sismo, etc., los pesos propios de las edificaciones y las sobrecargas de toda índole que puedan existir (sobrecargas de uso, motivadas por las máquinas, equipos y sistemas que realizan el proceso de fabricación, así como las debidas a almacenamiento de productos intermedios y acabados, etc.). Como una primera aproximación, podemos clasificar las cimentaciones en dos grandes grupos:

- Cimentaciones superficiales.
- Cimentaciones profundas.

Las cimentaciones superficiales se sitúan muy poco (entre 0,5 metros y 4 metros) por debajo del terreno natural y consisten fundamentalmente en superficies grandes de repartición de cargas, para que así el terreno sea capaz de soportarlas. Pueden ser un simple dado de hormigón, una superficie continua o un muro para soportar, por ejemplo, el cerramiento de un edificio.

Cuando las capas superiores del terreno no tienen resistencia suficiente, se recurre a apoyar las estructuras en otras capas más profundas, a las que se llega por medio de unos elementos de cimentación conocidos con el nombre de pozos o pilares y pilotes.

En general, podemos decir que la elección de uno u otro sistema de cimentación dependen básicamente de dos factores fundamentales:

- Clase de terreno sobre el que se apoyan las cimentaciones
- Características funcionales de las estructuras, es decir, tipos de cargas que transmiten.

Si consideramos la incidencia que tienen en cada caso estos dos factores, podremos llegar a determinar la conveniencia de la elección de uno u otro sistema de cimentación.

## **8.2. ESTUDIO DEL TERRENO DE CIMENTACIÓN**

En el proyecto de una Planta Industrial, el estudio del terreno debe ser hecho por una entidad especializada e independiente, si es posible local, que conozca el comportamiento de los terrenos sobre la base de experiencias anteriores y que además tenga un seguro de responsabilidad civil profesional adecuado a las responsabilidades que asume por realizar el estudio del terreno. Vamos a dar nociones fundamentales sobre estos aspectos.

Un terreno o suelo de cimentación quedará definido por su resistencia a la rotura por compresión, que se puede expresar en kilos por centímetro cuadrado ( $\text{k/cm}^2$ ) y por su capacidad de asentamiento (cm), frente a un determinado estado de cargas. Estos dos valores los podremos definir para un punto del terreno a una profundidad determinada, en unas circunstancias también determinadas de grado de humedad, temperatura, etc.

No podemos dejar de considerar que un terreno está formado por una serie de estratos, cada uno de los cuales tiene características físicas y químicas diferentes. Para efectuar el estudio de un terreno y así lograr determinar la resistencia media de este, es necesario realizar una serie de ensayos, cuyo número dependerá de la precisión que deseemos obtener. De estos ensayos, parte serán realizados en el propio terreno y parte en laboratorio.

Los ensayos a realizar en el terreno son fundamentalmente:

- Sondeos con extracción de muestras y determinación del espesor de los estratos.
- Determinación de los niveles de la capa freática en el momento de efectuar el sondeo.
- Ensayos con penetrómetro, para determinar una resistencia media a la penetración de un elemento metálico normalizado.
- Medidas de resistividad eléctrica.
- Ensayos de carga.

En el laboratorio podemos hacer ensayos físicos, mecánicos y químicos.

Los de tipo físico más importantes son:

- Determinación del peso específico.
- Determinación de la humedad natural.
- Determinación de la curva granulométrica.
- Determinación de la porosidad (índice de huecos).
- Determinación del coeficiente de filtración.

Los de tipo mecánico más importantes son:

- Determinación del grado de consolidación.
- Determinación de la resistencia al corte.
- Ensayo triaxial.
- Determinación del ángulo de rozamiento interno.
- Determinación de límites de Attemberg.
- Determinación de equivalentes normalizados.
- Ensayo C.B.R.

- Determinación de índices de grupo. Los ensayos químicos son:
- Determinación de la composición química del terreno.
- Análisis de aguas subterráneas.

Como consecuencia de estos ensayos, los terrenos o suelos de cimentación: «Aquellos que estarán en contacto con los cimientos o que recibirán directamente las cargas de estos cimientos a través de otras capas superiores», pueden dividirse en dos grupos:

- Suelos indeformables o incompresibles.
- Suelos deformables o compresibles (con mayor o menor grado de plasticidad).

A los suelos indeformables pertenecen las rocas, pizarras o conglomerados. A los deformables pertenecen las gravas, arenas gruesas y finas, arcillas, limos y fangos. Hacemos notar que casi nunca los terrenos se presentan en estado puro, sino que son una mezcla de los indicados anteriormente.

Los suelos indeformables no presentan problemas y su resistencia a la rotura es prácticamente la que se obtienen en el laboratorio, ensayando una probeta del suelo, de forma cilíndrica, a compresión.

Para determinar la capacidad portante de los suelos deformables, es fundamental tener en cuenta una serie de consideraciones que exponemos a continuación.

Clasificamos los suelos deformables según el tamaño de las partículas que los componen en estado puro. Así, las gravas están constituidas por partículas de tamaño superior a 5 mm y son en estado puro un buen terreno de cimentación. Las arenas gruesas están formadas por granos, cuyo diámetro está comprendido entre 2 mm y 0,4 mm; su comportamiento en estado puro depende de su granulometría. Los granos que constituyen las arenas finas tienen un diámetro comprendido entre 0,4 mm y 0,075 mm; su comportamiento depende de su grado de saturación y de la curva granulométrica que definen su estabilidad. Recordemos el caso concreto de las arenas movedizas; cuyo grado de saturación y granulometría las hacen tan quebradizas como cualquier tipo de fango.

Las arcillas, limos y fangos tienen un tamaño de partículas inferior a 0,075 mm y son, por tanto, los suelos más deformables.

Visto que los suelos se distinguen unos de otros por el grosor de las partículas que los constituyen, hemos de indicar que entre esas partículas o granos existen huecos llenos de aire o de agua; evidentemente, una carga reducirá el volumen de estos huecos, reduciendo así el volumen total del suelo.

Un suelo compuesto de granos de grosor uniforme tiene más huecos que un suelo compuesto de granos de dimensiones variables. Los elementos más finos llenan los espacios dejados por los granos más gruesos. Podemos pues afirmar que un suelo formado por granos de diferente tamaño es más compacto que otro con granos iguales.

El análisis granulométrico de un suelo expresa el porcentaje de la distribución de los diversos elementos, según su grosor y nos permite tener una idea de su grado de compresibilidad. Por otra parte, la presencia o ausencia de agua en los huecos, así como la naturaleza química de los granos, tiene gran importancia. No podemos olvidar que el agua intersticial es responsable, en gran parte, de la cohesión del suelo por la existencia de las fuerzas de cohesión desarrolladas por las tensiones capilares y por la presencia de la película de agua absorbida alrededor de los granos. Estas fuerzas disminuyen en razón inversa al grosor de los granos, hasta llegar a ser nulas; nos encontramos entonces en presencia de un suelo pulverulento, en el cual el equilibrio interno es conseguido solamente por el rozamiento interno entre las partículas. En el caso contrario, diremos que el suelo es coherente. Podemos pues decir también que los suelos comprensibles pueden clarificarse en coherentes y pulverulentos.

La cohesión y el ángulo de rozamiento interno están dados por la relación de Coulomb:

$$t = C + ptg\varphi$$

en la cual  $t$  es la resistencia al cizallamiento o al corte de una masa de una muestra sometida a una presión unitaria  $p$ , y  $C$  es una constante independiente de  $p$ ;  $C$  es la resistencia al corte bajo carga nula ( $t = C$  para  $p = 0$ ). Esta constante  $C$  es la cohesión.

En la figura 8.1 se ha representado la función llevando las cargas  $p$  en abscisas y las cargas de rotura por cizallamiento  $t$  en ordenadas.

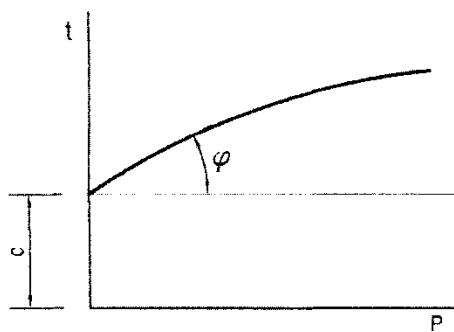


Figura 8.1

La inclinación de la recta con relación al eje de abscisas es el ángulo de rozamiento interno.

El esfuerzo de corte y el ángulo de rozamiento interno se deducen en el laboratorio en el aparato de Casagrande, actuando sobre muestras inalteradas y sobre muestras saturadas.

Otra operación importante de laboratorio consiste en la determinación del coeficiente de compresibilidad, que permite calcular el asentamiento o el hundimiento de una muestra comprimible de espesor  $h$ , bajo una sobrecarga dada  $\Delta P$ . Se define la relación diferencial.

$$\frac{dh}{H} = \frac{a}{1+\epsilon} \Delta P$$

En la cual  $a = de/dP$ , es el índice de compresibilidad y corresponde a la tangente de la curva de compresibilidad para una carga dada  $p$ . Esta curva o diagrama edométrico se obtiene registrando la variación del índice de huecos de una muestra de sección constante, en función de la variación de las cargas aplicadas.

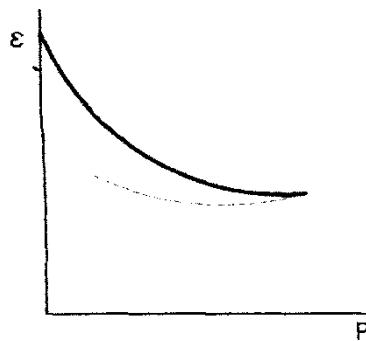


Figura 8.2

El índice de huecos es una función lineal de la altura de la muestra y es la relación entre el volumen de agua que ocupan los huecos de la muestra y el volumen de la materia seca de la muestra supuesta compacta.

Por analogía con lo que sucede en un terreno bajo el efecto de las cargas aplicadas progresivamente sobre la fundación en la construcción de un edificio, la experiencia se efectúa en un edómetro bajo una muestra saturada de agua. La aplicación de la carga tiene por efecto el expulsar lentamente el agua intersticial por disminución del volumen de los huecos. El valor del índice de huecos correspondiente a la carga de prueba no es constante más que cuando la altura de la muestra no varía ya. En el gráfico edométrico dado en la figura 8.2, las cargas están dadas en abscisas y los índices de huecos en ordenadas. La curva obtenida muestra la ley de variación del suelo considerado.

Además, el ensayo de compresibilidad permite tener una visión completa de la permeabilidad de la muestra y su actitud al hinchamiento. La actitud al hinchamiento de un suelo por variaciones de humedad constituye quizá la propiedad más importante de los suelos arcillosos. En efecto, según la proporción de granos minerales y de materias coloidales que las constituyen, las arcillas en lugar de tener un débil contenido de agua, son susceptibles incluso de absorber una gran cantidad desarrollando entonces por hinchamiento esfuerzos tanto más considerables como las presiones que han sufrido en el curso de su formación.

Así pues, el estudio de un suelo de cimentación debe hacerse sobre la base de tres análisis o ensayos indicados:

- Análisis granulométrico, que define la constitución física del suelo.
- Ensayo tangencial, que define la cohesión y el ángulo de rozamiento interno.
- Ensayo de compresibilidad o edométrico, que definen los asentamientos frente a cualquier estado de cargas, así como el hinchamiento de los suelos.

Estos ensayos nos permiten conocer la carga de rotura del suelo por compresión y los asentamientos. La carga de rotura puede deducirse por medio de fórmulas empíricas aproximadas, como por ejemplo las de Frölich, que exponemos a continuación.

$$\rho = \frac{\pi(\delta h + C \cotg \varphi)}{\cotg \varphi - \left( \frac{\pi}{2} - \varphi \right)}$$

$$\rho = \frac{(\delta + C \cotg \varphi)}{\sqrt{\frac{1 + \operatorname{sen} \varphi}{3 + \operatorname{sen} \varphi} \left( \frac{1 + \operatorname{sen} \varphi}{2 \operatorname{sen} \varphi} \right)}}$$

P = Carga unitaria de la construcción.

$\delta$  = Peso específico del terreno.

C = Cohesión.

$\varphi$  = Ángulo de rozamiento interno.

h = Profundidad del elemento de suelo considerado.

La primera fórmula se utiliza para cimentaciones superficiales y la segunda para profundas de sección circular (pozos o pilotes).

Definidas por las fórmulas indicadas o por otras similares de diferentes autores, las tensiones de trabajo de un suelo, resulta imprescindible acudir al gráfico edométrico y comprobar si estas tensiones admisibles no dan lugar a asentamientos que sean inadmisibles, en cuyo caso habría que rebajarlas. No suele ser peligroso el que se produzca un asentamiento por igual en todos los puntos de una cimentación, pero sí lo es siempre que se produzcan asentamientos diferenciales ocasionados, bien por la

irregularidad de los terrenos, o porque no se tengan iguales cargas unitarias en todos los puntos, como sucede normalmente cuando existen esfuerzos asimétricos (viento, sísmico, etc.).

Respuesta de un suelo frente a un sistema de cargas.

En la figura 8.3 se indican las curvas de repartición de presiones de contacto de un terreno en un elemento de cimentación, calculado antes y en el momento de la rotura para:

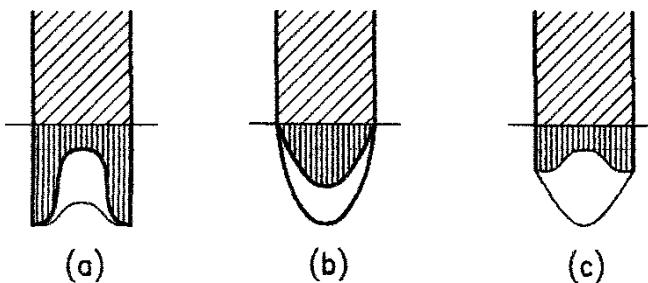


Figura 8.3

Lo indicado, que es una simplificación, sería inaceptable para una gran superficie de cimentación; en el caso de una losa por ejemplo, sería necesario descomponer la superficie cargada en elementos iguales y sustituir la carga repartida bajo cada elemento por una carga concentrada aplicada en su centro de gravedad. Es posible conocer las cargas resultantes en cada punto del terreno aplicando la fórmula de Boussinesq.

$$Z = \frac{n}{2\pi r x^2} Q \cos \alpha$$

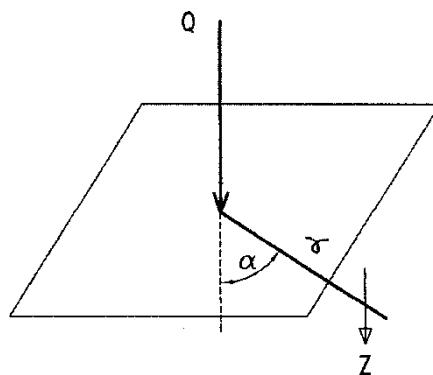


Figura 8.4

En la cual  $n$  es un coeficiente comprendido entre 3 y 6, según la proporción de arcilla (para arcilla pura  $n = 3$ ). Este procedimiento indica que los asentamientos serían más importantes en el centro de una losa que en su superficie.

En el cuadro se manifiestan tensiones de trabajo admisibles para algunos terrenos de cimentación.

Naturaleza del Suelo	R kg/cm <sup>2</sup>	Observaciones
Arenas		Los valores dados para las arenas y las arcillas están tomados de la obra Mecánica de Suelos Aplicada, por Tersghi y Peck.
Arena gruesa	0,5	
Arena húmeda	2,0	
Arena fina, resistente, seca	2,5 a 3,0	
Arena gruesa, en terreno de buen drenaje	3,0	Los datos para otros terrenos están tomados de la obra Práctica de la Construcción de Edificios por Mittag.
Arena gruesa muy resistente	3 a 6	
Gravas y arena gruesa en capas de gran espesor	5 a 8	
Arcillas		
Arcilla mojada o húmeda en capas de 5 mm de espesor, como mínimo	1 a 2	
Arcilla mojada con arena y limos	1	
Arcilla mojada y arena húmeda	1 a 1,5	
Arcilla mojada con gran consistencia	2,0	
Arcilla resistente	2,0	
Arcilla moderadamente seca en capas de gran espesor	2 a 4	
Arcilla sólida y seca	2,5 a 3	
Arcilla dura	3 a 4	
Arcilla dura y seca	4,0	
Arcilla en capas de gran espesor siempre seca	4 a 6	
Terrenos intermedios y terrenos rocosos		
Terreno de relleno no compactado artificialmente, según la calidad de la cimentación, así como la compacidad y la uniformidad del terreno	0 a 1,0	
Terreno natural no removido		
- Lodos, turbas y ciénagas	0	
- Terrenos pulverulentos	1,5 a 8	
- Terreno consistente (limos, arcillas, terrenos calcáreos)		
a) Plástico (puede moldearse con la mano)	0	
b) Blando (petrificable)	0,4	
c) Consistente	1,0	
d) Semirresistente	2,0	
e) Duro (seco, se rompe en trozos)	4,0	
Rocas poca agrietadas, en estado sano, no descompuesta y posición favorable (estratos horizontales)"		En caso de agrietamiento pronunciado o de posición desfavorable, los valores dados se reducirán a la mitad, como mínimo, según los casos.
a) En estratos cerrados	15,0	
b) En masas compactas	30,0	
Masas de roca compacta. Valores muy variables con la naturaleza de la roca, que pueden llegar a centenares de kg/cm <sup>2</sup> si la roca está entera y en las condiciones más favorables		

### 8.3. CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES DE LAS ESTRUCTURAS

El otro factor a considerar, aparte del terreno, para la elección del sistema más apropiado de cimentación, es el estudio de las características funcionales de las estructuras a cimentar, especialmente en lo que se refiere a las forma de transmitir las cargas propias y las sobrecargas al terreno, en el punto de contacto estructura-cimentación.

Hay tres formas de transmitir las cargas a una cimentación:

- Mediante un empotramiento.
- Mediante una articulación.
- Mediante un apoyo deslizante.

#### 8.3.1. Empotramiento

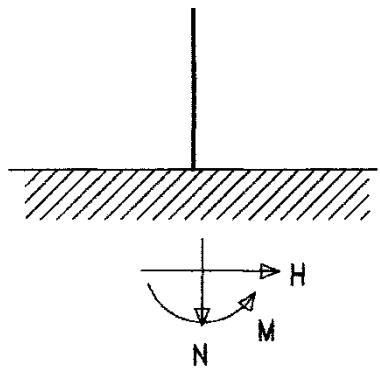
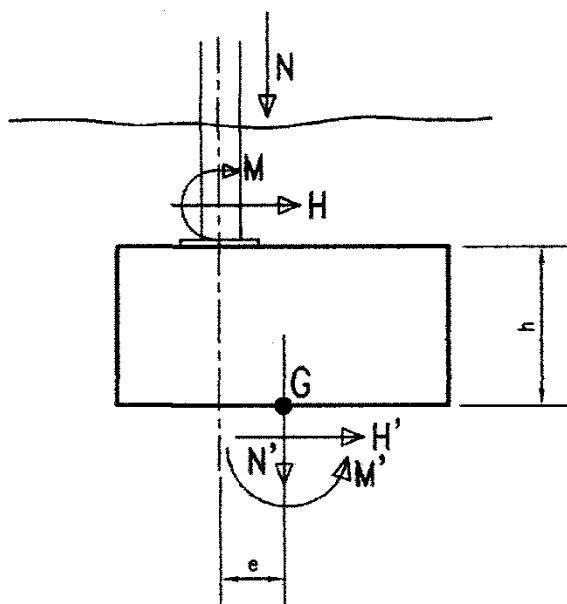


Figura 8.5

Se transmiten a la cimentación en el caso más general; una carga vertical  $N$ , una carga horizontal  $H$  y un momento flector  $M$ . Evidentemente, el momento flector y la carga horizontal producirán desequilibrios en la distribución de tensiones en la base de la cimentación y será necesario, según la magnitud de estos desequilibrios, bien recurrir a cimentaciones asimétricas o a dotarlas de un peso propio importante. En este caso, además, se debe

considerar la posibilidad de vuelco cuando la resultante de las acciones no pase por el núcleo de la sección de la cimentación en contacto con el terreno. Esta comprobación debe realizarse después de haber trasladado las acciones desde el punto de contacto de la cimentación con la estructura a la zona de contacto con el terreno.

(I) ZAPATA AISLADA



En las figuras 8.6 y 8.7 se indica este traslado en el caso de una cimentación por zapatas asimétricas, y en caso de un encapado con dos pilotes.

$$N' = N + hcL\gamma$$

$$H' = H$$

$$M' = M \pm Ne \pm Hh$$

Que son los esfuerzos en el centro de gravedad de la zapata en la zona de contacto con el terreno.

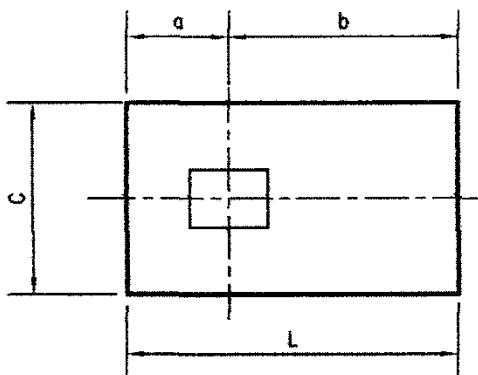


Figura 8.6

### (II) ENCEPADADO DE DOS PILOTES

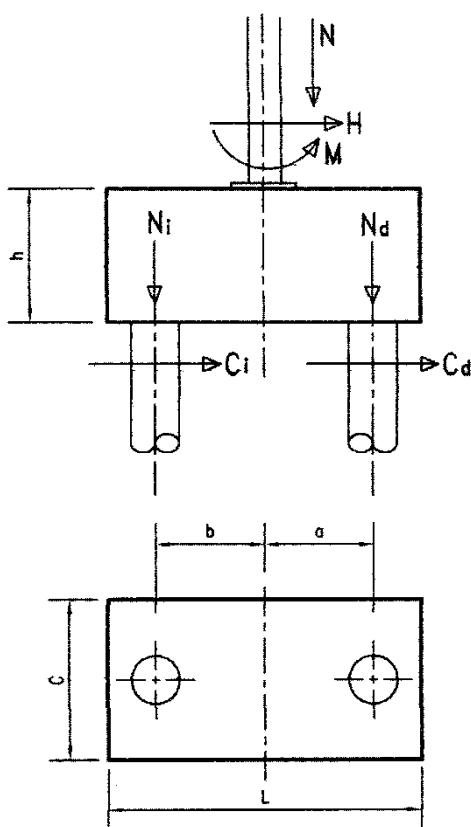


Figura 8.7

En el pilote derecho de diámetro D, (II)  
Encepado de los Pilotes de la figura 8.7, los  
esfuerzos serán:

$$\text{AXIAL: } N_D = \frac{N}{2} - \frac{M}{2a} + \frac{Lch\gamma}{2}$$

$$\text{CORTANTE: } C_0 = \frac{H}{2}$$

En el pilote izquierdo:

$$\text{AXIAL: } N_L = \frac{N}{2} + \frac{M}{2a} + \frac{Lch\gamma}{2}$$

$$\text{CORTANTE: } C_i = \frac{H}{2}$$

En el supuesto de que el encepado tenga la resistencia suficiente para la transmisión de momentos, es decir, que sea lo suficientemente indeformable para hacerlo.

### 8.3.2. Articulaciones

Se transmiten a la cimentación en el caso más general una carga vertical y una carga horizontal.

Los desequilibrios son producidos exclusivamente por la carga horizontal, que suele ser casi siempre pequeña con relación a la vertical.

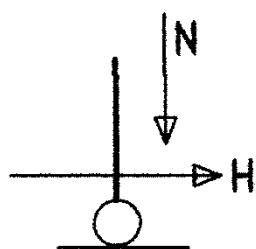


Figura 8.8

La solución de articular la base de las estructuras es siempre buena cuando el terreno solo admite unas cargas unitarias pequeñas ( $p < 1,5 \text{ kg/cm}^2$ ).

### 8.3.3. Apoyos deslizantes

Solo transmite al terreno una carga vertical. Es poco usado en estructuras de edificación, pero sí es muy utilizado en puentes y otras estructuras importantes isostáticas exteriormente.

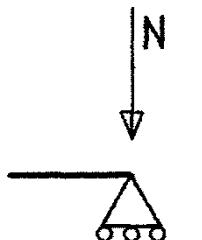


Figura 8.9

Queremos hacer notar, con carácter general, que siempre que estemos frente a un terreno con características mecánicas pobres, debemos tender al uso de estructuras isostáticas exteriormente, es decir, en las que puedan determinarse las reacciones de los apoyos por las ecuaciones de la estática. De no ser posible, intentaremos usar estructuras articuladas en los puntos de contacto con la cimentación, para así evitar la transmisión de momentos al terreno.

En el caso habitual de prever la existencia de asentamientos diferenciales entre dos puntos de una cimentación, hay que diseñar una estructura que resulte lo menos afectada posible por estos asentamientos diferenciales, ya que estos suponen la introducción de esfuerzos supplementarios en las estructuras que, evidentemente, las encarecen si se prevén en su diseño.

Como ejemplo mencionaremos el de la nave de estructura metálica con cubierta a dos aguas, para tres situaciones distintas del terreno.

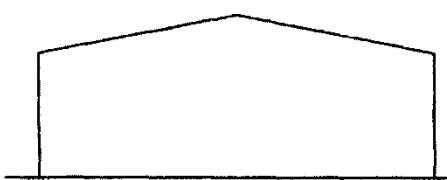


Figura 8.10

- Terreno bueno.
- Pilares empotados.
- Peso de la estructura  $P$ .
- Sin posibilidad de tener asentamientos diferenciales sin introducir nuevos esfuerzos.
- Terreno mediano.
- Pilares articulados.
- Peso de la estructura  $P' > P$ .
- Sin posibilidad de tener asentamientos diferenciales sin introducir nuevos esfuerzos.



Figura 8.11

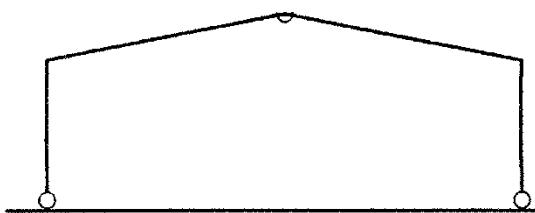


Figura 8.112

- Terreno malo.
- Pilares articulados y clave articulada.
- Peso de la estructura  $P'' > P' > P$ .
- Si existen asentamientos diferenciales, no se introducen esfuerzos por la isostaticidad de la estructura.

Con esto insistimos en lo que al principio mencionábamos, de que tan importante es el conocimiento profundo del suelo de cimentación, como el diseño acertado de la estructura para el proyecto de una cimentación económica.

## 8.4. CIMENTACIONES

### 8.4.1. Sistemas de cimentación

De acuerdo con lo indicado anteriormente, son los siguientes:

- Cimentaciones superficiales.

- Por zapatas.
- Por losas.
- Cimentaciones profundas.
  - Pozos o pilares.
  - Pilotes.

Analizamos a continuación los sistemas de cimentación que hemos indicado.

### 8.4.2. Cimentaciones por zapatas

Según la interrelación que tengan entre sí para la transmisión de esfuerzos pueden ser:

- Zapatas continuas.
- Zapatas aisladas.
- Zapatas aisladas unidas por vigas de atado.

Las primeras se utilizan para el apoyo de muros de cerramiento fundamentalmente. Las zapatas aisladas se utilizan para soportar elementos estructurales que transmiten al terreno cargas de un modo bastante concentrado. Estas se unen a veces por vigas de atado de la suficiente rigidez para evitar en lo posible los asentamientos diferenciales, o

bien para constituir un elemento secundario de la cimentación (viga de atado) capaz de soportar cargas continuas de los cerramientos. Así, es frecuente que las zapatas interiores de un edificio sean aisladas y las perimetrales estén unidas por vigas de atado, las cuales soportan los cerramientos, transmitiendo la carga que reciben a las zapatas que unen.

#### 8.4.2.1. Zapatas continuas

Suelen tener la sección indicada en la figura 8.13. La distribución de las reacciones del terreno para el caso de carga uniforme que pasa por el centro de gravedad de la cimentación suele ser uniforme. Depende de la rigidez transversal de la zapata y de las características del terreno. Dada la gran complejidad de este problema, puede admitirse sin gran error el reparto uniforme de las tensiones debidas a la reacción del terreno. En el caso de la zapata flexible (deformable transversalmente) sobre terreno rocoso, en el de la zapata rígida o flexible sobre terreno coherente y para las zapatas rígidas sobre terreno pulverulento. De todas formas, en cualquier caso se puede suponer un reparto uniforme de tensiones, siempre que haya simetría de cargas, sin olvidarnos de que las tensiones reales máximas pueden ser superiores a la media que estemos considerando.

Su dimensionamiento se hace fijando el ancho de la zapata, de acuerdo con la tensión admisible que estamos considerando para el terreno donde apoyan.

Se consideran zapatas rígidas por definición aquellas que tienen el ángulo a igual o mayor de  $45^\circ$ . Constructivamente el espesor  $HO$  en el borde de la zapata no debe ser inferior a 30 cm, ni a la tercera parte del canto máximo. Para evitar complicaciones en los encofrados suele ser constante  $H = HO$ .

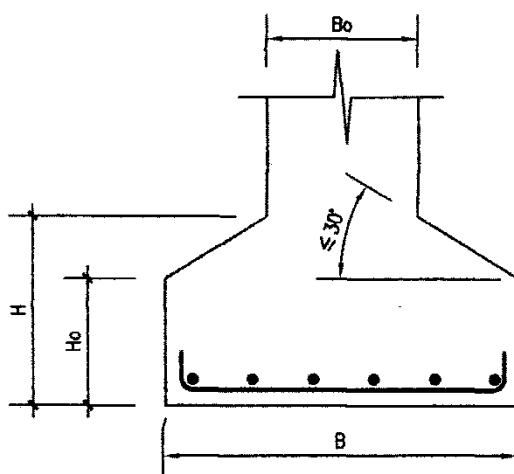


Figura 8.13

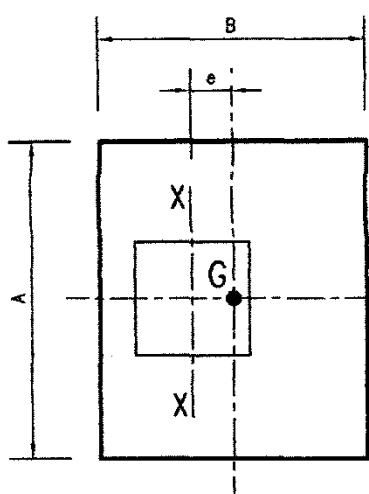
#### 8.4.2.2. Zapatas aisladas

Las observaciones hechas para las zapatas continuas en todo lo referente a la reacción del terreno y a su dimensionamiento son validas para este caso.

De igual forma, las zapatas aisladas pueden ser rígidas ( $\alpha > 45^\circ$ ) y flexibles ( $\alpha < 45^\circ$ ).

Para el cálculo de los esfuerzos de tracción se emplea también el método de las bielas.

#### 8.4.2.3. Zapatas excéntricas



Bien por excentricidad geométrica (cuando la carga vertical no pasa por el centro de gravedad de la zapata, supuesta rectangular), o bien por asimetría de cargas (existencia de momentos y/o esfuerzos horizontales, además de la carga vertical), resulta que no se tiene asimetría en las reacciones del terreno. Suponiendo que la distribución de tensiones en el terreno es plana, lo cual no es muy exacto, resulta que la tensión en cualquier punto situado a una distancia  $y$  del eje XX resulta ser:

$$\sigma_y = \frac{N}{A \cdot B} \pm \frac{Ne}{I} y$$

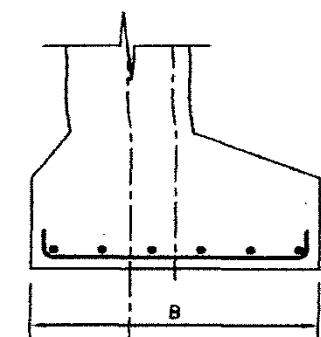
Suponiendo que sea una excentricidad geométrica y

$$\sigma_y = \frac{N}{A \cdot B} \pm \frac{M}{I} y$$

Suponiendo que se deba a la existencia de un momento.

En estos casos será conveniente reducir todos los esfuerzos al centro de gravedad de la base de la zapata, considerando además el peso propio de ésta.

Figura 8.14



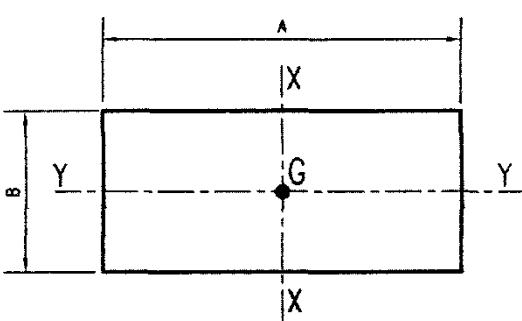
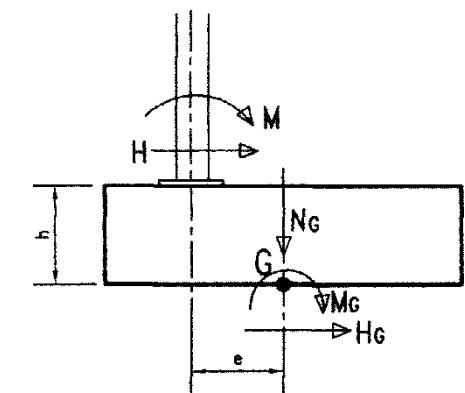


Figura 8.15

En la figura se estudia un caso general con asimetría geométrica y existencia de momentos y cargas horizontales.

Los esfuerzos trasladados al centro de gravedad de la base, considerando como y el peso específico de la zapata, serán los siguientes:

$$N_G = N + \gamma ABh$$

$$H_G = H$$

$$M_G = M + Hh - Ne$$

y las tensiones (suponiendo estado plano) del terreno serán:

$$\sigma_y = \frac{N_G}{A \cdot B} \pm \frac{N_y}{I} y$$

$$\text{Si se verifica que, } \left| \frac{M_G}{I} \frac{A}{2} \right| > \left| \frac{N_G}{AB} \right|$$

entonces la resultante de esfuerzos cae fuera del núcleo de la sección y por tanto se originarán estados de tracción con posibilidad por tanto de vuelco.

El dimensionado de la zapata (a realizar siempre por tanteos) se deberá hacer de tal forma que no se produzcan las tracciones mencionadas.

#### 8.4.2.4. Zapatas nervadas

A veces conviene aumentar uno de los lados de la zapata con relación al otro para que la resultante de esfuerzos pase por el núcleo de la sección y resultan zapatas en las que éstas se calculan para su sección transversal como zapatas continuas y para su sección longitudinal como discontinuas.

#### 8.4.2.5. Zapatas unidas por vigas de atado

Como ya hemos indicado, se disponen las vigas de atado para soportar cerramientos. En este caso estas vigas se calculan como empotradas en las zapatas sin considerar ninguna transmisión directa de esfuerzos al terreno. A las zapatas hay por tanto que añadirles las cargas que reciben de estas vigas, además de las normales que soportan de la estructura.

En muy contados casos se emplean las vigas de atado como elemento resistente capaz de impedir que una zapata sufra un asentamiento diferencial importante con relación a las contiguas. Esta solución, que es muy conservadora, resulta de muy alto precio, ya que las vigas de atado resultan entonces de un gran canto.

#### **8.4.3. Cimentaciones por losas**

Se utiliza esta solución cuando la superficie cubierta en planta por las zapatas resulta muy alta comparada con la superficie en planta cubierta por el edificio (se suele estimar que las losas son convenientes cuando la superficie cubierta por las zapatas resulta superior a un 25% o un 30% de la superficie total).

Además, se suelen emplear en terrenos de muy baja resistencia (inferior a 1 kg/cm<sup>2</sup>) y en los que se presuma la existencia de asentamientos diferenciales importantes.

La organización de este tipo de cimentación se hace mediante vigas de gran rigidez que enlazan las bases de los pilares de la estructura y que constituyen el apoyo de las losas de hormigón (su funcionamiento es análogo al de un forjado de una azotea invertida). El espesor de las losas debe ser como mínimo de 25 cm.

Al ser de gran rigidez el conjunto (losa y vigas) es imprescindible que la resultante de las acciones de la estructura pase por el núcleo de la sección total para conseguir uniformizar lo más posible la tensión del terreno y para evitar cualquier problema de vuelco.

Las losas continuas pueden calcularse como losas de hormigón empotadas en sus cuatro bordes, sobre los que actúa una presión de terreno uniforme. Para esto es condición necesaria que el tamaño de las losas sea similar y que las vigas tendrán gran rigidez.

Las vigas se calcularán como continuas, es decir, considerando que existen apoyos en los puntos de aplicación de las cargas de la estructura. Cuando las luces de vigas sean grandes (a partir de 1 m aproximadamente) convendrá tener en cuenta la flexibilidad de las losas que modificarán la respuesta del terreno sobre el cual apoya la losa, creando aumento de tensión en las zonas más próximas a los puntos de aplicación de las cargas procedentes de la estructura.

En cualquier caso, en el diseño de una losa de cimentación hay que tener en cuenta que las condiciones de borde sean uniformes y además conseguir una respuesta del terreno lo más uniforme posible, para así evitar cualquier tipo de asentamiento localizado que pudiera hacer trabajar a la losa en condiciones diferentes a las previstas.

#### 8.4.4. Cimentaciones por pozos o pilares

Se emplea la cimentación por pozos, pilares o pilarotes cuando en el terreno existe una capa sobre la que ese puede cimentar por tener alta resistencia a compresión y poca deformabilidad a profundidades comprendidas entre cuatro y siete metros por debajo del nivel del terreno natural. Consiste en efectuar una excavación circular (como un pozo) de un diámetro comprendido entre 0,90 y 1,30 m, la cual se rellena con hormigón en masa o pobemente armado. Sobre esta masa de hormigón circular se apoya la estructura. Se calcula como una zapata de una gran altura (despreciando los esfuerzos cortantes) y se considera que la reacción del terreno es uniforme.

No es una solución buena cuando las cargas que transmite la estructura los momentos presentan un valor importante frente a los esfuerzos normales. Su utilización queda pues prácticamente reducida al caso de vigas verticales procedentes de estructuras isostáticas.

#### 8.4.5. Cimentaciones por pilotes

Se realizan cimentaciones mediante pilotes cuando el terreno resistente se encuentra a profundidades superiores a 6 metros, o cuando son de prever variaciones importantes de las características mecánicas del terreno, bien por elevaciones o depresiones de la capa freática, o bien por que se prevean estas variaciones por infiltración de agua procedente de la superficie. También se emplean en terrenos poco consistentes en los cuales no se encuentra ninguna capa resistente.

Por su modo de fabricarse se clasifican en:

- Pilotes fabricados en taller o en obra (pilotes de hincada).
- Pilotes colocados in situ (pilotes de extracción de tierras previa por sondeo).

Por su forma de trabajo se clasifican en:

- Pilotes que trabajan fundamentalmente de punta.
- Pilotes que trabajan por fricción lateral.

En cualquiera de los tipos mencionados, los pilotes son elementos construidos en hormigón armado con sección cilíndrica o hexagonal, de un diámetro normalmente comprendido entre 40 cm y 70 cm.

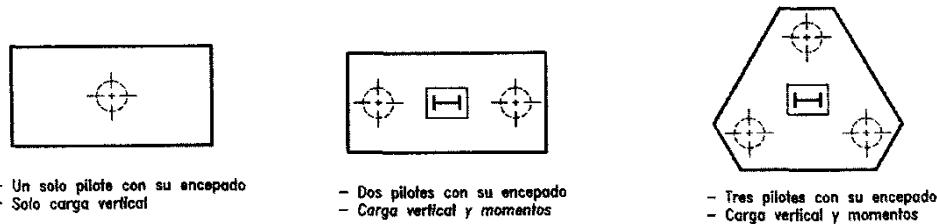


Figura 8.16

En la parte superior del pilote o grupo de pilotes se dispone un elemento también de hormigón armado que tienen por misión transmitir las cargas de la estructura a los pilotes. Este elemento se llama encepado; se debe considerar que la unión del pilote o pilotes al encepado es rígida, es decir, que constituye un verdadero empotramiento.

#### 8.4.5.1. Pilotes prefabricados

Son pilotes fabricados en un taller especial y posteriormente trasladados a obra, o bien se fabrican in situ. En cualquiera de los dos casos, se hincan en el terreno mediante golpes de una maza.

Por ser prefabricados es necesario determinar *a priori* su longitud, para lo cual se deberán realizar ensayos de hinca. Estos ensayos son de tipo dinámico o bien de tipo estático. Normalmente se obtendrán resultados más precisos realizando ensayos estáticos después de realizados los dinámicos. El proceso a seguir consiste en ir hincando en una serie de puntos del terreno (tanto más cuantos más pilotes tenga la obra en total) pilotes y midiendo para una maza tipo qué número de golpes son necesarios para conseguir una determinada penetración. En realidad estamos suministrando al pilote una energía (recorrido vertical de la maza por su peso) que se transforma en un trabajo de penetración (esfuerzo que opone el terreno por la longitud hincada) y en un trabajo de deformación del pilote (energía elástica o plástica del acortamiento sufrido al recibir el golpe).

Existen para cada tipo de pilote (según diámetro y tipo de sección transversal) tablas que nos indican que para conseguir una resistencia del pilote del número de toneladas de capacidad portante previstas, es necesario que su penetración sea menor que una tipo para una maza normalizada, o una energía de caída de la maza normalizada.

De esta forma podemos determinar la longitud necesaria de pilote para conseguir la resistencia adecuada, que se obtendrá por el esfuerzo de punta y por rozamiento lateral.

Este ensayo dinámico no suele ser suficiente, ya que según va penetrando el pilote en el terreno se producen modificaciones de este terreno por variación de las tensiones a que se somete.

Es decir, se producen fenómenos de consolidación artificial que puede ser deseable o no y que dependen además de la humedad del terreno en ese momento. Por esta razón es por la que conviene, una vez hincado el pilote de prueba a la profundidad necesaria

para la que se consigue la resistencia apetecida, el realizar ensayos de carga estáticos, los cuales se realizan cargando el pilote sucesiva y lentamente hasta una carga que sea vez y media la del trabajo y observando los asentamientos que se producen para cada carga. Los incrementos de carga suelen ser de 10 en 10 toneladas y se suelen hacer cada 12 ó 24 horas. Así se obtiene un gráfico cargas-asentamientos que nos indica la cuantía de estos últimos y nos permite ver si son o no admisibles.

Fijada la longitud, se realiza la prefabricación de los pilotes, los cuales van armados longitudinalmente con varillas de acero, las cuales se sujetan entre sí por medio de un zuncho que bien pueden ser estribos o una armadura espiral. De esta forma tenemos elementos de gran esbeltez aptos casi exclusivamente para trabajar a compresión (esto además implica que la cuantía de las armaduras sea pequeña).

Se dejarán aproximadamente 50 cm más largos de lo necesario. Este exceso se romperá dejando las armaduras al aire para realizar el encepado correspondiente. Esta operación se conoce como descabezado del pilote.

Según la cuantía de las cargas que reciban de la estructura será necesario que trabaje un solo pilote o un grupo de ellos. En el caso de que exista más de un pilote unido al mismo encepado se deben separar convenientemente (por lo menos 2 veces y media su diámetro), ya que al hincarlos tan próximos se pueden modificar excesivamente las características de los terrenos con las tensiones de hinca y se puede producir una rotura brusca de éste.

Este tipo de pilotes se utiliza fundamentalmente para terrenos de muy baja resistencia y trabajan fundamentalmente por rozamiento. El valor aproximado de este rozamiento vale para diferentes tipos de terreno (en toneladas por metro cuadrado de superficie lateral el pilote):

Fango .....	0,2 t/m <sup>2</sup>
Rellenos .....	1,2 t/m <sup>2</sup>
Arena suelta .....	2,5 t/m <sup>2</sup>
Arcilla húmeda .....	4,0 t/m <sup>2</sup>
Arcilla compacta.....	5,0 t/m <sup>2</sup>
Terreno firme.....	5 a 8 t/m <sup>2</sup>

## **8.5 CIMENTACIONES ESPECIALES**

### **8.5.1. Generalidades**

Dentro de la construcción industrial, adquieren especial importancia las cimentaciones de máquinas o conjuntos de máquinas. El tratamiento que se debe dar a estas cimentaciones es completamente diferente al que se da a las cimentaciones de las edificaciones ya que en éstas los esfuerzos dinámicos de todas las categorías son los que predominan, generalmente.

La cimentación de una máquina es un elemento constructivo que tiene por misión canalizar al terreno (suelo de cimentación) los esfuerzos que existen debidos a la existencia de esa máquina, tanto los de carácter estático (pesos propios) como los de carácter dinámico, originados por el hecho de existir masas en movimiento. Las cimentaciones de máquinas deben ser capaces de transmitir estos esfuerzos de tal forma que no se produzcan asientos de la cimentación, desplazamientos ni vibraciones, que podrían perjudicar el funcionamiento de la máquina, o de otras contiguas a ella, o incluso hacer vibrar a las estructuras de las edificaciones.

Los esfuerzos que pueden producir una máquina pueden ser de todo tipo: fuerzas horizontales, verticales, momentos según los tres ejes y torsiones en todos los planos. Estos esfuerzos son peculiares de cada máquina y son datos que se pueden obtener de su funcionamiento aislado. Hay que considerar que algunos de estos esfuerzos solo se producen después de que la máquina lleva funcionando un periodo de tiempo prolongado; estos son los correspondientes a desequilibrios que se producen por el desgaste de las piezas.

El proyectista debe considerar en sus cálculos tanto los esfuerzos sistemáticos de la máquina como los accidentales admisibles y suplementarios que puedan producirse por lo anteriormente expuesto.

Las dificultades e incertidumbres que lleva consigo el determinar los esfuerzos accidentales admisibles y los suplementarios, unido a las dificultades de evaluar las características mecánicas del suelo de cimentación (que además pueden variar a lo largo del tiempo), hace que el proyectar la cimentación de una maquina sea más una ciencia experimental que una ciencia pura, en el desarrollo de la cual hay que tener muy en cuenta las experiencias obtenidas en casos similares positiva o negativamente resueltos.

### **8.5.2. Materiales**

Las cimentaciones de máquinas se construyen fundamentalmente con tres materiales:

- Fábricas de ladrillo.
- Hormigón en masa.
- Hormigón armado.

Los dos primeros se emplean cuando existen únicamente esfuerzos estáticos que deban ser canalizados al terreno, independientemente de cómo se canalicen los propios de los edificios. Esto es debido a que ni las fábricas de ladrillo ni el hormigón en masa son capaces de soportar esfuerzos de tracción ni esfuerzos cortantes de alguna importancia.

El material más utilizado, sin duda, es el hormigón armado, que es capaz de soportar y transmitir toda clase de esfuerzos satisfactoriamente y, además, tiene la densidad suficiente para poder hacer que la cimentación tenga gran masa y así poder reducir las vibraciones que producen las máquinas.

Se emplean otros materiales en menor cuantía, aunque no menos importantes, como son: el corcho aglomerado, el caucho y otros materiales elásticos, que juegan siempre el papel de amortiguadores. También en esta línea se emplean los resortes metálicos, aunque con menor profusión.

### **8.5.3. Anclajes**

Son los elementos que unen la cimentación a la máquina, pueden ser anclajes rígidos o bien elásticos.

Los anclajes rígidos unen de forma rígida a la máquina con su cimentación, constituyendo un conjunto único. Son barras construidas en acero ordinario, que se anclan en el hormigón la longitud necesaria para que su resistencia a la rotura venga determinada por su sección y no por la adherencia con el hormigón. Las bases de la máquina se introducen en los anclajes precisamente dispuestos y se unen mediante doble o simple tuerca con arandela. También se puede colocar la máquina con sus anclajes en huecos que previamente se hayan encajado en la cimentación, los cuales se llenan después con un mortero rico en cemento de gran resistencia.

Los anclajes elásticos son análogos a los anteriores, salvo que están unidos a la máquina de forma elástica a través de un material que proporcione esta elasticidad (muelle metálico, caucho, neopreno, etc.).

#### **8.5.4. Terrenos**

Los terrenos de la cimentación se definen por su carga admisible a la compresión, por su capacidad de asentamiento frente a las cargas y por su elasticidad.

La carga admisible que se recomienda como mínima es de  $2 \text{ kg/cm}^2$ . Cuando no sea posible se utilizarán pilotes unidos a la cimentación, que le den la resistencia adecuada.

Se define el coeficiente de compresibilidad del terreno como la relación, entre la carga unitaria que va a soportar y el asiento que sufre. Se puede determinar en laboratorio. El dato que se obtenga solo será válido cuando la carga unitaria que soporte esté por debajo de la admisible y se pueda considerar al terreno en su actuación con una cierta elasticidad.

Se recomienda que las condiciones de humedad en el suelo de cimentación sean uniformes. A veces conviene colocar un buen drenaje para evitar las oscilaciones en la capa freática.

En el caso de que esté próxima, se recomienda el que la capa freática deberá estar por lo menos a  $1/3$  de la anchura de la cimentación por debajo de la misma.

#### **8.5.5. Tipos de esfuerzos que producen las máquinas**

En general podemos clasificarlos en esfuerzos estáticos y esfuerzos dinámicos. Los esfuerzos estáticos no varían a lo largo del tiempo. Los esfuerzos dinámicos pueden ser aislados sin periodicidad, y son esfuerzos que se producen según una cierta ley en función del tiempo. Así pues tenemos:

Esfuerzos	Estáticos	
	Dinámicos	Aislados (no rítmicos)
		Periódicos

Estudiaremos a continuación las cimentaciones correspondientes a cada uno de los tipos de esfuerzos indicados.

##### *Cimentaciones de máquinas que producen esfuerzos estáticos*

Puede suceder que el esfuerzo de la máquina pase por el centro de gravedad del macizo de la cimentación, o bien que presente descentramiento.

En el primer caso la carga total transmitida al terreno será la suma del peso del macizo y de la máquina. La tensión producida en el terreno, que tendrá que ser igual o menor que la admisible, resultará de dividir la carga total por la superficie en planta del macizo.

En el caso de que exista un descentramiento producido por un momento o bien por una carga descentrada (el caso del momento se podrá reducir a éste) resultará que debemos estudiarlo como una zapata excéntrica.

#### *Cimentaciones de máquinas sometidas a esfuerzos dinámicos*

Estudiaremos separadamente el que los esfuerzos sean aislados que tengan periodicidad.

#### *Máquinas que producen esfuerzos dinámicos aislados*

Estos esfuerzos son los característicos de machacadoras, martillos pilones, parada brusca de algunos aparatos, etc.

Para el cálculo de una cimentación de este tipo se definen dos factores, que nos servirán para identificar el esfuerzo dinámico con otro estático virtual equivalente, que nos permitirá tratar la cimentación como si se tratase de la de una máquina que solo produzca esfuerzos estáticos. Son el coeficiente de vibración ( $\delta$ ) y un coeficiente de tensión ( $\mu$ ). El primero tendrá en cuenta las vibraciones y el segundo las disminuciones que se puedan producir como consecuencia de la disminución de resistencia producida por el cambio de valor y signo de las fuerzas.

Según lo anterior, multiplicando el esfuerzo dinámico por los coeficientes ( $\delta$ ) y ( $\mu$ ) se obtiene la carga estática virtual que sustituye a dicho esfuerzo.

Los fabricantes de máquinas, habitualmente, proporcionan los coeficientes citados.

#### *Máquinas que producen esfuerzos dinámicos periódicos. Principios*

El caso del martillo pilón es típico de máquinas que causan un fuerte golpe, que se transmite parcialmente al terreno pero que no origina vibraciones en los elementos de su alrededor, porque los golpes se repiten con periodos largos.

Se producen vibraciones en las máquinas de velocidad elevada que tienen partes giratorias o basculantes. Aunque una máquina, como por ejemplo una bomba de émbolo, debe proyectarse de modo que las fuerzas se contrarresten, sucede que se transmitirán esfuerzos pulsantes a través de tuberías. Se deberán pues calcular los esfuerzos y su periodo o frecuencia. Hay que tener en cuenta que las cimentaciones o estructuras de sustentación no tengan frecuencias próximas a las de las máquinas, ya que si no se produciría la resonancia.

Las frecuencias propias de fabricación de las estructuras y de los macizos suelen estar comprendidas entre los 200 y 500 ciclos/minuto. Las de las máquinas suelen estar

por encima de los 1.000 ciclos/minuto, aunque puede ocurrir que en máquinas con motores de velocidad variable se produzcan fenómenos de resonancia. Por otra parte, en las puestas en marcha se dan fenómenos transitorios, que en principio, por su corta duración, debemos despreciar.

Hay una serie de principios que debemos tener en cuenta en el momento de proyectar la cimentación de una máquina:

1. Aumentando el peso de las cimentaciones disminuye la amplitud de las variaciones para un esfuerzo periódico dado, ya que para un esfuerzo constante la aceleración decrece cuando aumenta la masa.
2. Para una impulsión dada ( $Ft$ ) el incremento de la velocidad decrece con el aumento de la masa del cuerpo al que se le aplica el impulso.
3. En el caso de momentos giratorios circulares, una masa  $M$  cuyo centro de gravedad está a una distancia  $r$  del eje de giro dará lugar a una fuerza radial centrífuga de valor  $F = V^2/r$ , siendo  $V$  la velocidad lineal del centro de gravedad ( $V = mr\omega$ ).

Así pues, habrá una fuerza vertical sobre la cimentación de valor variable dado por la expresión.

$$F = \frac{MV^2}{r} \cos \omega t$$

Habrá una fuerza horizontal de valor variable que tenderá a desplazar el macizo de cimentación de valor

$$F = \frac{MV^2}{r} \sin \omega t$$

El momento de vuelco producirá un movimiento pendular del macizo de cimentación y de la máquina.

4. Para paliar la transmisión de vibraciones al terreno se emplean aislamientos elásticos que permiten a la máquina y al macho vibrar, pero amortiguan las reacciones de modo que los esfuerzos que se transmitan no sean elevados.

Como: Impulsión =  $Ft$

Impulsión angular =  $Ftr$ .

Resulta que todo lo que aumente el tiempo de aplicación de  $F$  reducirá el valor del impulso y por tanto sus efectos.

Los aislamientos no varían  $t$  que depende de la máquina, pero la inercia del cuerpo resistirá la tracción y rotación de modo que si está libre de moverse, comenzará a ir hacia un lado y se invertirá su movimiento cuando cambie la dirección de la fuerza.

## PREGUNTAS DE AUTOEVALUACIÓN

### Tema octavo

1. El que necesitemos una cimentación profunda, por ejemplo Pilotes, puede ser razón suficiente para cambiar la ubicación de una Planta Industrial. Indicar un ejemplo positivo y uno negativo. Razón de las decisiones.
2. Las cimentaciones suelen ser de hormigón más o menos armado. ¿En qué supuestos no necesitaríamos que el hormigón fuera armado?
3. En una Planta Industrial el equipo de proceso y los servicios auxiliares de una inversión de 100 se llevan 60. ¿Cuál sería la inversión en cimentaciones si estamos en un terreno normal con una capacidad portante de  $2 \text{ kg/cm}^2$ .
4. Las cimentaciones son parte de las edificaciones en una Planta Industrial. Indicar cómo se deben amortizar a efectos del coste por unidad de producto. ¿Podrían tener algún valor residual una vez amortizadas?
5. La primera capa de un terreno (aproximadamente los primeros 30/50 cm) es la capa de tierra que llamamos vegetal. Indicar por qué es necesario eliminar esta capa antes de cimentar.
6. Indicar las razones de por qué el estudio de un terreno de cimentación debe ser hecho por:
  - Una entidad independiente.
  - Una entidad especializada.
  - Una entidad local o con experiencia en la zona.
7. ¿Quién a su juicio es responsable de proyectar una cimentación adecuada? Explicar con detalle y justificar la respuesta.
  - El autor del estudio del terreno.
  - El autor del proyecto de la Planta Industrial.
8. ¿Qué porcentaje del valor de la inversión en una Planta Industrial deberá invertir en hacer un buen estudio del suelo. En qué se basará para hacer una inversión muy alta o muy baja. Explicar con detalle la respuesta
9. En un suelo deformable se pueden dar casos de hinchamiento que pueden levantar las cimentaciones y romper los pavimentos exteriores e interiores. Indicar cuándo puede suceder este fenómeno e indicar un ejemplo.

10. En qué casos la altura de la capa freática, y sobre todo las variaciones de altura de la capa freática, pueden incidir en la capacidad portante de un terreno. Indicar un ejemplo.
11. ¿Cuál es la precisión de un estudio de un suelo a efectos del diseño de una cimentación? ¿Estamos ante una ciencia exacta o estamos ante algo que nos orienta sobre lo que debemos hacer? Hacer una valoración de lo anterior.
12. ¿Por qué puede ser importante un ensayo edométrico? ¿En qué casos? Indicar ejemplos suponiendo el diseño de un vial en el interior de una fábrica.
13. Indicar en que casos debemos proyectar estructuras empotradas en las cimentaciones o estructuras articuladas (con giro libre) o apoyos deslizantes. Indicar ventajas e inconvenientes de los diferentes sistemas de unión de las estructuras con las cimentaciones.
14. Indicar que es el núcleo de una sección rectangular de una zapata aislada. Indicar un ejemplo. ¿Cómo se puede modificar el núcleo, para que tengamos sólo compresiones?
15. Indicar sobre los usos y conveniencias de las zapatas excéntricas en Edificios Industriales. Indicar ejemplos.
16. ¿Cuál sería el límite de utilizar una cimentación de zapatas aisladas o de utilizar losas de cimentación? Justificar con argumentos técnicos y económicos.
17. ¿Por qué la cimentación de una máquina, que produce esfuerzos dinámicos, no debe estar unida a la cimentación del sistema estructural de un edificio?
18. ¿Cómo evitaría la resonancia posible que puede haber en una Planta Industrial? Establecer criterios de diseño.

# Tema 9

## Los cerramientos y pavimentos en edificios Industriales

### **Presentación**

Los cerramientos constituidos por las fachadas y por las coberturas en un edificio de una Planta Industrial de cualquier tipo, representan el elemento de separación del exterior con el interior. Aíslan de las condiciones meteorológicas exteriores (viento, nieve, temperatura) de las condiciones interiores, que son necesarias para la fabricación (realización de las operaciones unitarias), para los servicios auxiliares y para los servicios de personal y servicios generales. Esto no siempre es cierto ya que en la industria química, petroquímica y de refino a veces no es necesario cubrir y proteger los puestos de trabajo de las inclemencias del tiempo.

Por otra parte las soleras y pavimentos son la parte de la edificación industrial que constituyen los revestimientos del suelo natural y normalmente del suelo previamente limpiado (sin materia orgánica) y compactado. Las soleras están constituidas por losas de hormigón sobre una sub-base y un suelo compactado. Los pavimentos son de diferentes tipos según el uso que se les vaya a dar (antideslizantes, de gran dureza, etc.).

### **Objetivos**

En este tema, de carácter descriptivo, se intenta presentar una relación de los diferentes tipos de fachadas y coberturas que se utilizan en los edificios industriales, así como las principales características de cada una de ellas, con el fin de establecer criterios de selección según los casos que se nos presenten.

También estableceremos los criterios básicos para la realización de las soleras y se hace mención de los diferentes tipos de pavimentos que se utilizan en la industria.

## 9.1. GENERALIDADES

Los cerramientos de un edificio industrial son la envolvente del edificio y están compuestos por:

- Las fachadas.
- Las coberturas.

Según sean preferentemente verticales u horizontales.

Los cerramientos realizan las siguientes funciones:

- a) Son la separación física del interior y el exterior de un edificio. Son una auténtica barrera que separa el ambiente exterior del ambiente interior, donde en un edificio industrial se realizan las operaciones unitarias que constituyen los procesos de fabricación en unas determinadas condiciones ambientales. Ver figura 9.1.

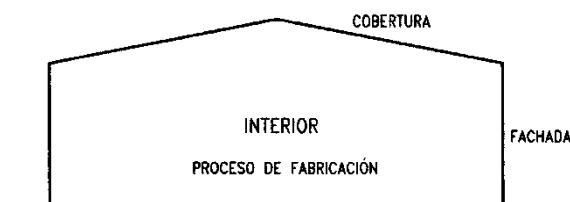


Figura 9.1

- b) Son los que permiten un nivel de habitabilidad (confort) en el interior de los edificios, permitiendo unas condiciones ambientales que hacen posible la realización de los procesos de fabricación y la estancia en condiciones de confort a las personas que ocupan los puestos de trabajo. Nos referimos a los siguientes aspectos climáticos:

- Temperatura. Posibilitan la temperatura interior adecuada, independiente de la exterior gracias al aislamiento térmico. Naturalmente se necesita calefacción y/o aire frío para conseguirlo, según la estación del año.
  - Humedad. Evitan la entrada de agua y facilitan mediante la ventilación el alcanzar los niveles de humedad relativa que requieren los procesos de fabricación, lo cual a veces supone aportes energéticos complementarios.
  - Iluminación. Su forma y partes transparentes facilitan la iluminación de los locales industriales (ventanas, lucernarios, claraboyas, etc.).
  - Ruidos. Son una barrera antiruido del exterior, lo cual contribuye al confort de los ocupantes de los edificios industriales.
- c) También constituyen una barrera de seguridad frente a las agresiones atmosféricas (viento, nieve, etc.), como a las agresiones de personas.

## 9.2. Las fachadas

De los dos grandes grupos de cerramientos, los verticales constituyen las fachadas de los edificios y son el cerramiento que dota a los edificios de su aspecto estético más característico.

Podemos decir que las fachadas están constituidas por tres partes:

- El zócalo o parte baja.
- La zona intermedia.
- La zona superior que se une a la cobertura.

En un edificio industrial, el zócalo recibe los mayores impactos tanto de los agentes atmosféricos, como de las personas y maquinas que realizan los procesos de fabricación. (El zócalo es la zona comprendida entre el nivel del suelo y 1,5/2,0 metros de altura). La parte intermedia de la fachada, normalmente solo recibe impactos de tipo atmosférico y la parte superior tiene la misión de enlazar con la cubierta del edificio con lo cual su misión principal es servir de soporte y canalizar las aguas de lluvia adecuadamente. Ver figura 9.2.

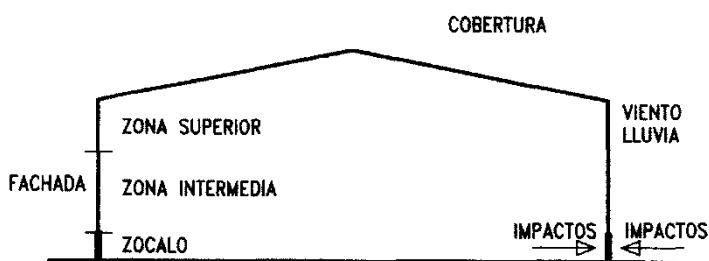


Figura 9.2

En un edificio industrial podemos clasificar las fachadas según la forma en que son construidas:

- Fachadas realizadas in situ.
- Fachadas prefabricadas en taller y montadas in situ.

De estos dos grandes tipos en edificios industriales de proceso, es frecuente utilizar fachadas prefabricadas con zócalos realizados in situ, precisamente para cubrir la eventualidad de los impactos internos y externos que se pudieran producir.

En edificios de servicios auxiliares y edificios de servicios generales, tales como talleres de mantenimiento y almacenes generales, se utiliza el mismo criterio anterior con bastante frecuencia.

En edificios de servicios de personal y oficinas se recurre más a fachadas realizadas in situ, o bien a fachadas prefabricadas completas ya que el valor y la importancia de los impactos a baja altura es menor, además de otros factores secundarios.

### **9.2.1. Fachadas realizadas in situ**

Este tipo de fachadas está construida en el lugar donde está el edificio industrial al que protegen. Están constituidas por objetos de pequeño tamaño. Tienen que resistir los pesos propios, las agresiones meteorológicas, los impactos y a veces también los esfuerzos de algún forjado que apoya en estas fachadas.

En términos generales, los edificios industriales, según el material utilizado, se clasifican en fachadas realizadas in situ con:

- Sillería
- Mampostería
- Fábricas de:
  - Ladrillo
  - Bloques
  - Hormigón en masa o armado
  - Chapa metálica

En edificios de plantas industriales los materiales preferidos por razones de economía, plazos de ejecución y funcionalidad son los siguientes:

- Fachadas de fábricas de ladrillo.
- Fachadas de fábrica de bloques.
- Fachadas de hormigón en masa o armado.
- Fachadas de chapa metálica con zócalos de fabrica montadas in situ.

#### **9.2.1.1. Fachadas de fábrica de ladrillo**

Para estas fachadas se utilizan piezas de cerámica de arcilla cocida (ladrillos cerámicos y bloques de termoarcilla). Los ladrillos cerámicos son piezas prismáticas de arcilla cocida que se manejan en el montaje con una sola mano. Los ladrillos más usados en edificaciones industriales son el ladrillo macizo o macizo perforado (gafas) para muros resistentes que se realizan con diferentes espesores y distintas trabas o aparejos según se indica en las figuras 9.3, 9.4, 9.5, 9.6 y 9.7, de la página siguiente. También se utiliza el ladrillo hueco, que a su vez puede ser sencillo (una sola fila de huecos) o doble (con dos filas de huecos longitudinales).

Si el muro no se acaba con ladrillos de cara vista el acabado es con mortero, un revoco o un enfoscado de cemento si nos referimos al exterior y con un guarnecido y enlucido de yeso si es por el interior del muro.

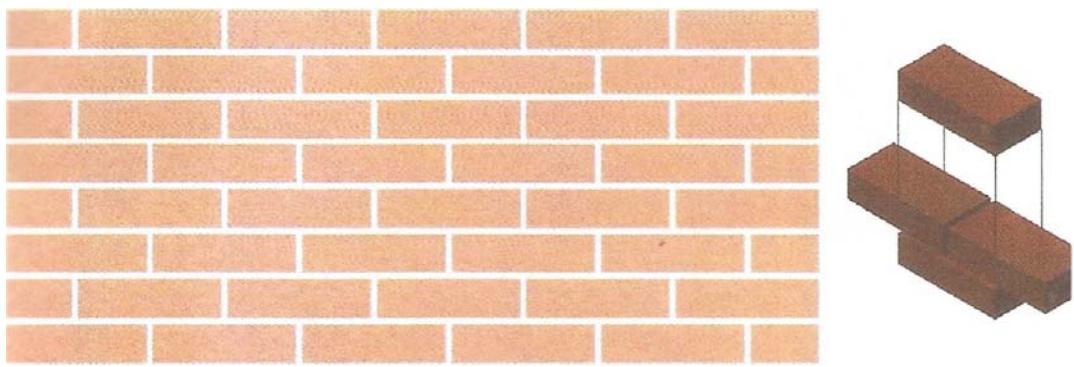


Figura 9.3. Aparejo a soga.

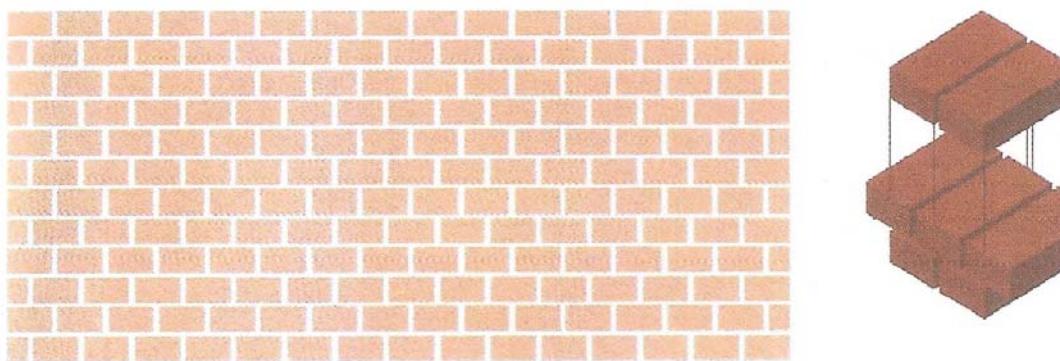


Figura 9.4. Aparejo a tizón.

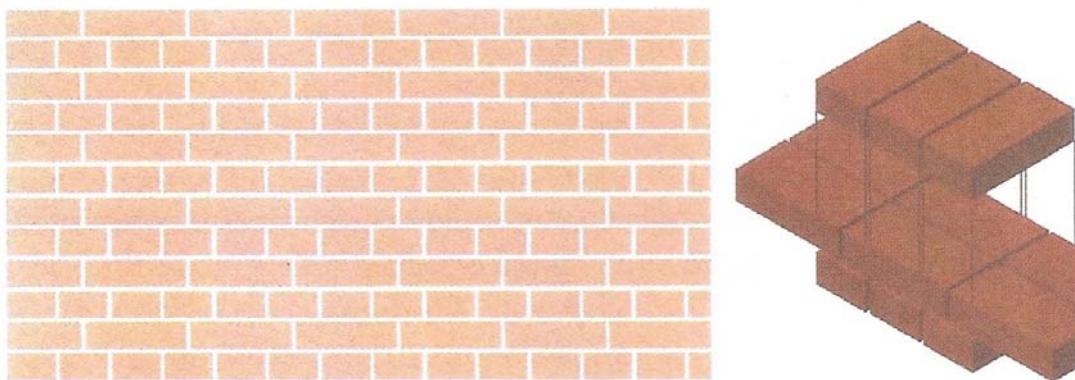


Figura 9.5. Aparejo inglés.

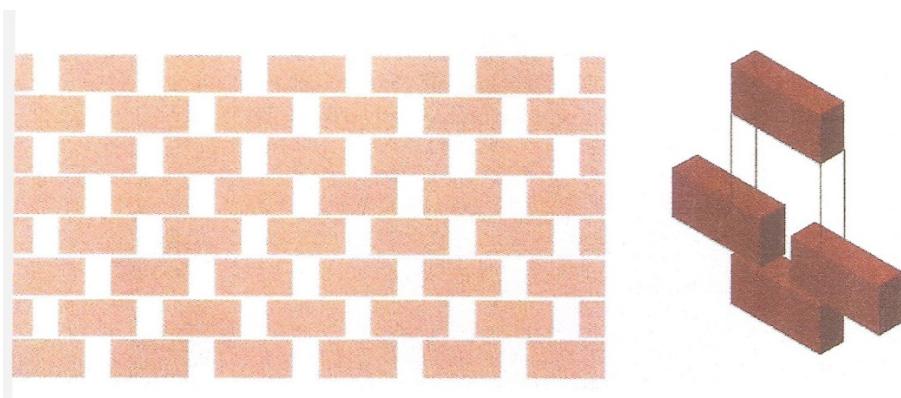


Figura 9.6. Aparejo palomero.

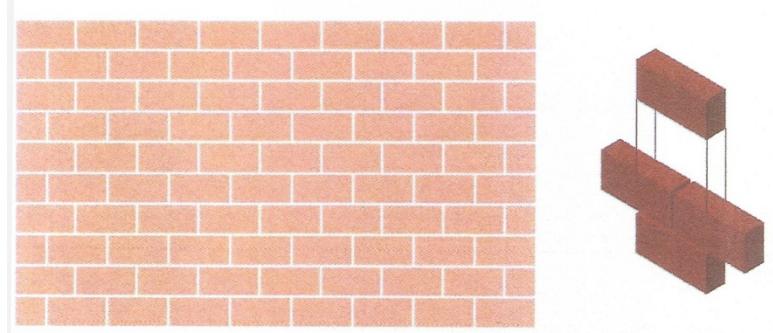


Figura 9.7. Aparejo a panderete.

#### 9.2.1.2. Fachadas de bloques de hormigón

Estos bloques se obtienen por prensado con aglomerante de cemento y posterior curado en cámaras húmedas donde se favorece el fraguado del cemento en ausencia de grietas.

Ver figura 9.8.

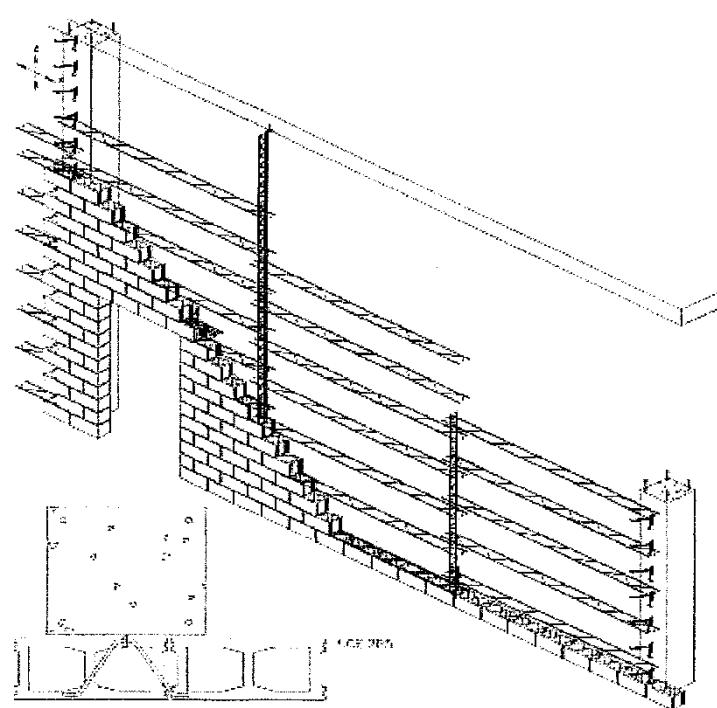


Figura 9.8. Fachada de bloques de hormigón armado y arriostrado.

### **9.2.1.3. Fachadas de hormigón en masa o armado**

Estas fachadas in situ requieren un encofrado a dos caras situado en el lugar donde irá el muro de cerramiento, un armado interior a realizar antes de la colocación de la segunda cara del encofrado. Se realiza el vertido del hormigón y después de curado y secado se retiran los encofrados terminándose así la fachada. Ocurre que normalmente hay que dejar previsión de huecos en el encofrado para pasos de luz y/o canalizaciones diversas.

Un problema de estas fachadas es su alto precio tanta más cuanta más alta es la previsión de huecos a realizar. En edificios industriales, estas fachadas resultan de una gran calidad pero son muy poco flexibles si tenemos que realizar cambios en los equipos de fabricación (lay-out muy poco flexibles).

### **9.2.2. Fachadas prefabricadas en taller y montadas in situ**

Están constituidas por elementos planos de tamaño grande que se fabrican en una instalación especial fuera de la obra o incluso también en la obra. Lo frecuente es que el material principal de gran tamaño se fabrique y acabe fuera de la obra y luego se realice en obra su montaje. Normalmente se sujetan estas piezas a la estructura del edificio o a una estructura secundaria o auxiliar, que se sujeta a la estructura principal. A veces estos elementos prefabricados son su propia estructura de soporte (elementos autoportantes). A este tipo de cerramientos pertenecen los cerramientos de chapa con diferentes terminaciones y con la aplicación de aislamientos. Las combinaciones posibles son muy variadas.

Presentan como ventaja sustancial la rapidez y facilidad de montaje y también la gran flexibilidad que presentan al realizar cambios en el equipo de fabricación (cambios en el lay-out).

Podemos en función de los materiales utilizados, clasificarlos en los siguientes tipos:

- Paneles de hormigón prefabricado.
- Paneles de chapa metálica.
- Paneles tipo sándwich.

#### **9.2.2.1. Paneles de hormigón prefabricado**

Pueden ser autoportantes, que es el caso normal en edificación industrial, o simplemente realizar la función de cerramiento.

Los paneles autoportantes suelen tener espesores superiores a 12 centímetros y normalmente son ciegos, aunque a un coste mayor podrían incorporar huecos para

iluminación y ventilación. Se colocan verticalmente y se apoyan en zócalos bajos de hormigón o incluso en las vigas perimetrales de la cimentación. Se anclan a la estructura principal del edificio y las juntas entre paneles se sellan con masillas elásticas. Ver figura 9.9.



Figura 9.9. Fachada de paneles autoportantes de hormigón.

Los paneles de cerramiento exclusivamente son de espesor más reducido (5 a 10 cm). Llevan los huecos de fachada incorporados y necesitan una estructura auxiliar de sujeción. Son poco usados en edificación industrial. Ver figura 9.10.



Figura 9.10. Panel de cerramiento de hormigón.

#### 9.2.2.2. Paneles de chapa metálica

Se fabrican a partir de bobinas de chapa laminada en frío de diferentes espesores y con diferentes acabados. Normalmente se les dota de pliegues para dar rigidez (grecas) y siempre necesitan una estructura auxiliar, hecha a base de correas, para constituir el cerramiento.

Hay diferentes tipos según la configuración que presenten.

Los paneles de chapa simple consisten en una sola hoja de chapa plegada, que le da rigidez, frente a los esfuerzos perpendiculares al plano de la fachada. Esta chapa se sujetta en la estructura auxiliar la cual canaliza los esfuerzos horizontales del viento a la estructura principal, además de servir de soporte. Su uso está condicionado por la falta de aislamiento y por tanto no es recomendado para donde hay personal trabajando. Ver figura 9.11.

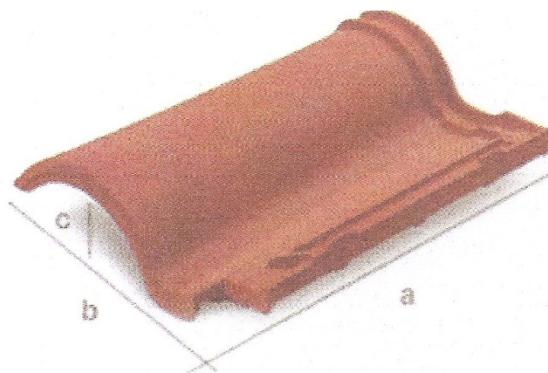


Figura 9.17. Teja mixta

Los paneles de chapa doble están constituidos por dos chapas una cara interior y otra cara exterior, ambas grecadas.

Esta solución es la utilizada para edificios industriales de proceso o de servicios auxiliares. Como indicábamos antes, es frecuente dotar a este tipo de fachadas de un zócalo alto (1,5/2 metros de altura) para absorber los impactos. Ver figura 9.12.

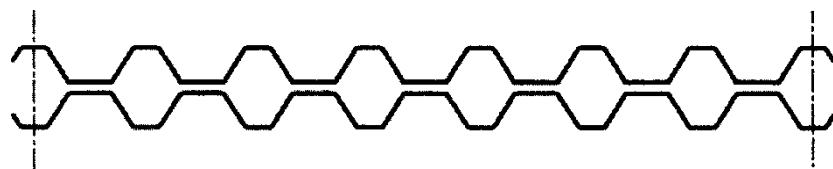


Figura 9.12. Panel de chapa doble.

Los paneles de chapa doble con aislamiento son la solución típica para un edificio industrial con un aislamiento normalmente rígido o semirrígido en el interior de las dos chapas grecadas. Hay muchas variedades de greca y de acabado de la chapa así como de tipos de aislamiento (poliuretano, lana de roca, etc.). Ver figura 9.13.

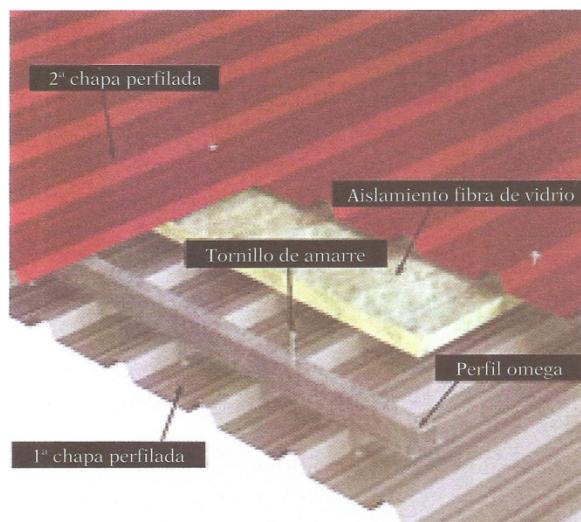


Figura 9.13. Sándwich de chapa doble con aislamiento

Otras soluciones de cerramiento de fachadas, como paneles de plástico, muros cortina, paneles de madera, etc., que existen en el mercado, tienen muy poca utilización en edificación industrial.

### 9.3. LAS CUBIERTAS EN LOS EDIFICIOS DE PLANTAS INDUSTRIALES

Las cubiertas realizan la función de proteger a los edificios de los agentes exteriores. Es decir, esta función de protección alcanza los siguientes aspectos:

- Protección frente a la lluvia y la nieve, dotando a los edificios de la estanqueidad necesaria, a la vez que proporcionando el drenaje de este agua de lluvia o la procedente de la nieve derretida.
- Protección frente al viento, evitando el paso violento del aire en el interior de los edificios, además proporciona la correspondiente sujeción de sus elementos y también a la vez evita los fenómenos de succión y corrientes que el aire produce a altas velocidades.
- Protección frente a los cambios de temperatura, que pueden llegar a producir movimientos no deseables por su magnitud. Aquí se produce un aspecto de moderación de las variaciones térmicas, que absorbe con juntas de dilatación a la vez que proporciona el aislamiento térmico necesario.

En una cubierta podemos distinguir las siguientes partes:

- a) El soporte resistente, que es el elemento constructivo que proporciona estabilidad y resistencia y define la forma de la cubierta. Este soporte estaría constituido por un forjado o por una estructura principal y las correas, en otros casos.
- b) El soporte base que es el elemento que soporta el impermeabilizante de la cubierta, que puede o no ser el mismo que el soporte resistente.
- c) El aislamiento térmico formado por una o varias capas, que tiene por misión limitar el paso de calor y evitar las condensaciones que se pueden producir por variaciones térmicas.
- d) El impermeabilizante que evita el paso del agua.

En la figura 9.14 se indican las partes de una cubierta.

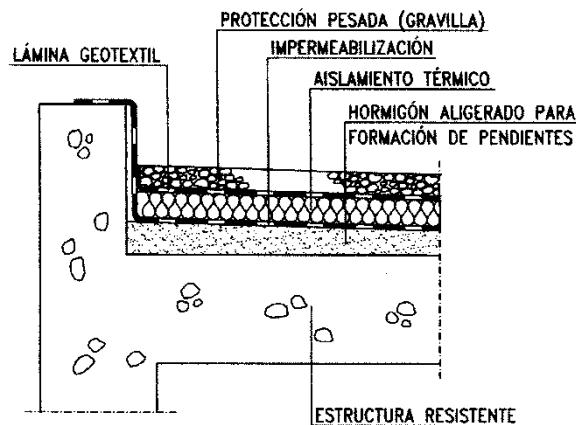


Figura 9.14. Partes de una cubierta.

En términos generales, en edificios industriales las cubiertas pueden ser inclinadas y planas. Naturalmente en este tipo de edificación hay un predominio de las cubiertas inclinadas con mayor o menor inclinación. Ahora contamos con materiales de acabado de cubierta que permiten inclinaciones del 2%. En todo caso no debemos olvidar al diseñar una inclinación la importancia que puede tener la nieve, especialmente por las sobrecargas adicionales que puede producir.

### 9.3.1. Cubiertas inclinadas

Las cubiertas inclinadas comprenden todos aquellos tipos que propician y permiten que el agua de lluvia sea llevada al perímetro de la forma más rápida a través de las superficies inclinadas, que se conozcan con el nombre de faldones. La pendiente de los faldones depende del material de que estén hechas las cubiertas. Como señalábamos antes, las pendientes pueden estar comprendidas entre el 2% y las superficies verticales, como sucede en algunas cubiertas en dientes de sierra. Están formadas por un solo plano, en el caso de cubierta a un solo agua o por dos o más planos, como es el caso de cubiertas a dos o más aguas. Ver figuras 9.15 y 9.16.

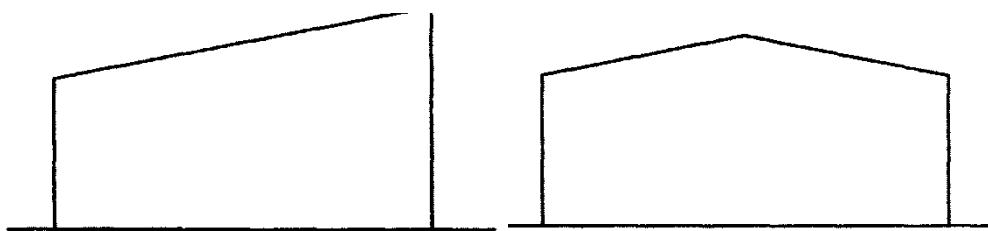


Figura 9.15. Cubierta a un agua.

Figura 9.16. Cubierta a dos aguas.

En cubiertas a dos aguas, los dos planos que constituyen la cubierta se intersectan en un ángulo convexo (limatesas y cumbreiras) y si se intersecta en un ángulo cóncavo constituyen las limahoyas. Estos son los casos más frecuentes en edificios industriales.

También en todos los casos las cubiertas llevan consigo los elementos necesarios para la iluminación y ventilación que requieren los edificios industriales y que son habitualmente de una sola planta.

Según lo anterior, estas cubiertas las podríamos clasificar según su forma geométrica o bien según el material con el que están construidas.

Por su forma, y solo en el supuesto de cubiertas inclinadas, podríamos clasificarlas en cubiertas a un agua o cubiertas a dos aguas. En edificación industrial no se usan habitualmente coberturas de tres o más aguas, en bóveda o en cúpula, simplemente porque estas soluciones suelen encarecer la construcción.

Por su material de cobertura, podemos clasificar las cubiertas en los siguientes tipos:

- Coberturas de teja curva.
- Coberturas de teja mixta.
- Coberturas de teja plana.
- Losetas de pizarra, de cerámica, de madera o láminas bituminosas.
- Planchas metálicas de zinc, cobre o plomo.
- Chapas onduladas o grecadas.
- Paneles sándwich de doble chapa con aislamiento.
- Paneles translúcidos o transparentes.

De todos los tipos mencionados, en edificaciones industriales con cubiertas inclinadas en la práctica y por razones de funcionalidad y bajo coste, solo se suelen usar las siguientes:

- a) Teja mixta, que es una teja curva que permite una colocación más fácil. Suele ser una teja elaborada bien con cemento secado y curado en taller bien con arcilla cocida. De todas formas su uso es muy restringido. Figura 9.17.

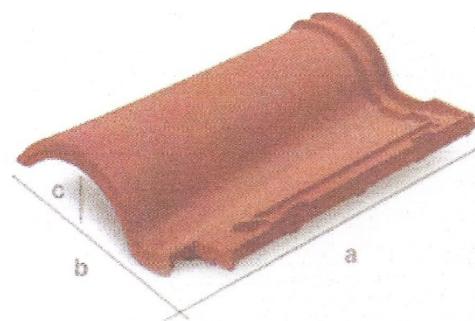


Figura 9.17. Teja mixta.

- b) Chapa ondulada y/o grecada. Suelen ser chapas metálicas con pliegues de ondulaciones o grecas trapeciales. Ver figura 9.18 y 9.19.



Figura 9.18



Figura 9.19

Las ondulaciones y las grecas trapeciales dan a las piezas una mayor inercia y por supuesto tanto cuanto mayor sea la altura de este pliegue. Pueden producirse problemas de pandeo en el caso de espesores muy finos de chapa, en el caso de que no haya sujetaciones laterales.

El montaje se realiza mediante el solape de las chapas metálicas, montando una o más ondulaciones o grecas sobre las de la chapa contigua. Las sujetaciones de las chapas se llevan a cabo mediante tornillos a la estructura de correas de la estructura principal. Según los fabricantes, hay piezas especiales para los remates de cumbreñas, limastesas o limahoyas, también con elementos de la misma chapa. En edificios industriales ocupadas por personas, es necesario dotar a este tipo de cubiertas de algún tipo de aislamiento que mejore las condiciones de temperatura interior.

Se utilizan mucho en edificación industrial, aunque las condiciones interiores del clima hagan necesario el uso de aislamiento.

La longitud máxima de estas chapas es la máxima permitida para un transporte normal, es decir 12 metros. En casos especiales se puede llegar a longitudes mayores.

También se fabrican chapas onduladas o grecadas translúcidas o transparentes (poliéster o policarbonatos) que permiten el paso de la luz.

En general los detalles constructivos de los montajes de estas cubiertas los proporcionan los fabricantes de la chapa, los cuales a efectos de garantizar los resultados se ocupan del montaje (es frecuente garantizar resultados de impermeabilidad durante diez años).

c) Paneles sándwich de doble chapa con aislamiento.

Están constituidos por dos chapas, una al interior del edificio y otra al exterior. La exterior suele ser de chapa grecada u ondulada y la interior es normalmente más plana, para conseguir un mejor apoyo en las correas de la estructura de soporte. En el interior, entre ellas, se dispone una plancha normalmente rígida de aislamiento. Ver figura 9.20.



Figura 9.20 Panel sándwich.

La unión entre los paneles y el anclaje a las correas se resuelve de distintas formas según fabricantes. En la figura 9.21 se muestra el solape de dos paneles sándwich de un fabricante.

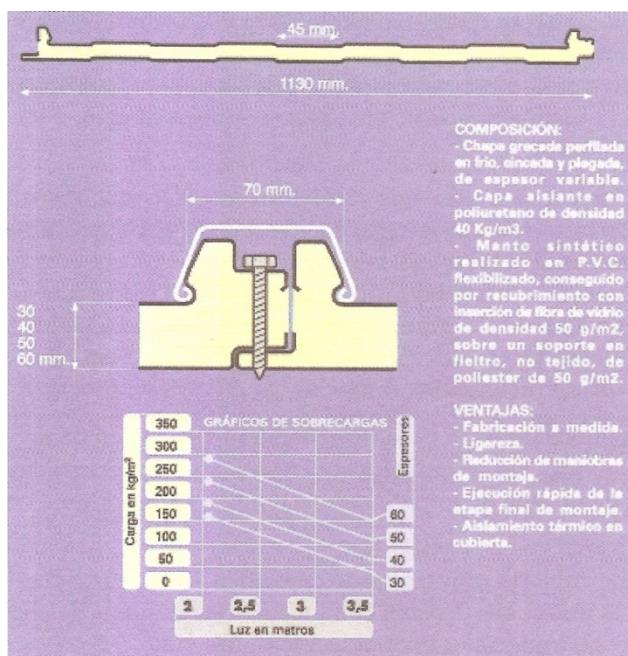


Figura 9.21. Sistema de junta entre paneles, ejemplo de un fabricante

Como complemento de lo anterior, cuando se desean cubiertas que dejen pasar la luz natural, se disponen en los faldones de las cubiertas, placas grecadas u onduladas translúcidas o transparentes, las cuales también se pueden combinar con sistemas de ventilación natural o forzada que evite eventuales condensaciones en invierno.

Las materiales más utilizados en edificios industriales, para estos componentes translúcidos, son las placas de policarbonato y las placas de poliéster reforzado con fibra de vidrio.

### 9.3.2. Cubiertas planas

Son usadas en plantas industriales, fundamentalmente en los edificios de Servicios de Personal y en edificios aislados de Oficinas Generales.

En estas cubiertas, el drenaje se realiza recogiendo el agua de lluvia, como en un recipiente al cual se le dota de varios sumideros de evacuación del agua, con este sistema es imprescindible tener al menos una capa impermeable con la inclinación suficiente para conducir el agua a los sumideros (entre el 1,5% y 5,0%).

Un problema importante que presentan este tipo de cubiertas es que al ser prácticamente horizontales la incidencia de los rayos de sol es muy intensa, sometiendo a las cubiertas a variaciones térmicas muy fuertes (hasta 60/70 °C), en determinadas latitudes interiores. Ocurre que si las dimensiones de las cubiertas son grandes, será necesario disponer de más juntas de dilatación que las propias de la estructura, y siempre respetando las juntas de la estructura principal.

En estas cubiertas, si la capa de aislamiento se coloca debajo de la capa de impermeabilización, la cubierta será normal, y si el aislamiento se coloca por encima de la capa de impermeabilización, estaremos ante una cubierta invertida.

Un tipo de cubierta muy utilizado en edificación industrial es la cubierta DECK, que es una cubierta plana con un soporte resistente de chapa normalmente de greca, trapezial u ondulada. Ver figura 9.22.

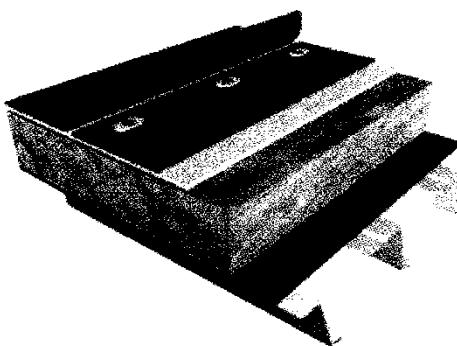


Figura 9.22. Cubierta tipo DECK.

La impermeabilización de la cubierta se hace a base de membranas bituminosas, láminas de PVC, pinturas elásticas y casos especiales con planchas metálicas de cobre, zinc o plomo.

Dentro de los sistemas descritos anteriormente, las cubiertas pueden ser transitables o no e incluso estar acabadas con un relleno de gravilla que proporciona un buen aislamiento de la membrana impermeabilizante al posibilitar la ventilación de la misma por los huecos existentes entre los gránulos del árido.

Hay una gran variedad de cubiertas planas según capas de componentes y materiales utilizados. De todas formas, su utilización está bastante restringida para edificios industriales, como ya se ha indicado anteriormente.

## 9.4. LAS SOLERAS

En los edificios industriales, las soleras constituyen el revestimiento del suelo natural o el suelo compactado, y están constituidas por elementos planos de hormigón en masa o armado que se apoyan en una sub-base compactada o sobre el propio terreno natural. Sobre estas soleras se colocan los pavimentos, que evitan desprendimiento de polvo, desgastes, deslizamientos, y proporcionan resistencia a los agentes químicos, etc. Ver figura 9.23.

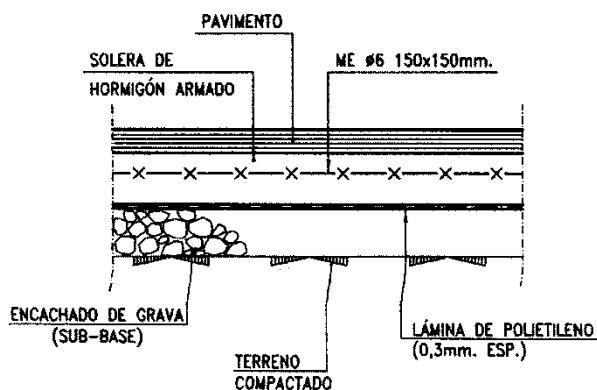


Figura 9.23

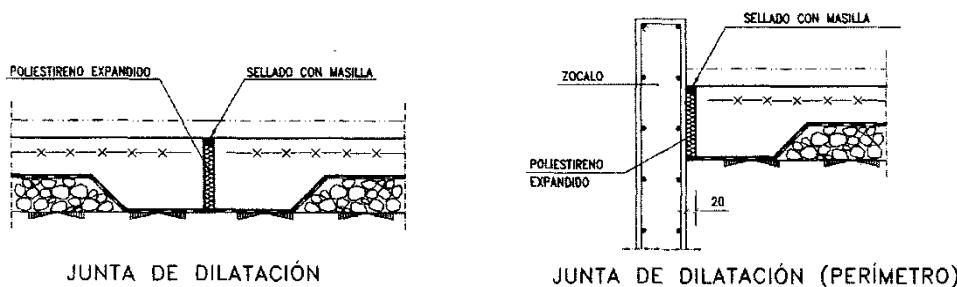
La sub-base compactada suele tener un espesor entre 25 y 40 centímetros, según calidades. La solera tendrá normalmente entre 12 y 25 centímetros, según tráfico e impactos a soportar, también según material de armado y el pavimento tendrá normalmente entre uno y cinco centímetros. Suele interponerse una fina capa de polietileno entre la solera y la sub-base, que evita la pérdida de agua del hormigón de la solera durante el fraguado.

Las soleras pueden ser de hormigón en masa u hormigón armado. El armado se puede hacer con mallazo de acero o con fibra de acero siguiendo las recomendaciones de la Norma EHE y del CTE. La fibra de acero dota a las soleras de una mayor resistencia ya que en la práctica se consigue un hormigón con iguales propiedades resistentes en todas las direcciones. También resultan unas soleras aptas para un alto nivel de tráfico y con una gran resistencia al impacto, es decir, son adecuadas para tráfico de carretillas en almacenes donde se manejan altos tonelajes de mercancías.

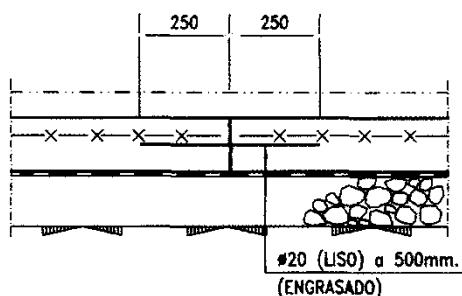
Un aspecto muy importante en las soleras lo constituyen las juntas que hay que prever en el diseño y construcción de las mismas. Hay que prever tres tipos de juntas:

- Juntas de dilatación.
- Juntas de construcción.
- Juntas de retracción.

Las juntas de dilatación tienen por misión aislar los movimientos de la solera producidos por cambio de temperatura de los movimientos propios de las estructuras de pilares o soportes, muros y cimentaciones. Se disponen para evitar los contactos directos con los sistemas mencionados. Ver figura 9.24.



Las juntas de construcción dependen del rendimiento en cuanto a superficie máxima de solera que se ejecute en el día con los medios que se disponga en obra. Se puede llegar hasta los 2.500 metros cuadrados por día sin este tipo de juntas. Las juntas de construcción como decíamos aíslan lo hormigonado en el día de lo hormigonado el día anterior y el día siguiente permitiendo a lo de cada día movimientos horizontales. Se dejan empotrados en el hormigón unos pasadores y unas vainas engrasadas, que como decíamos, permiten los movimientos horizontales e impiden los verticales entre una losa y su adyacente. Ver figura 9.25.

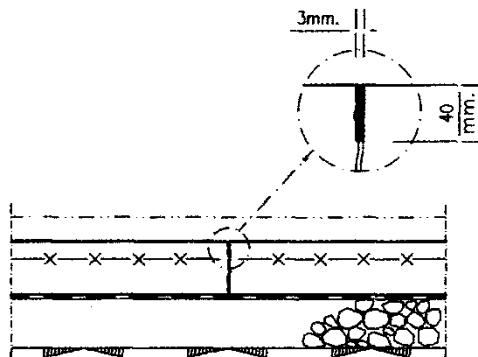


JUNTA DE CONSTRUCCIÓN

Figura 9.25

Las juntas de retracción tienen por misión evitar el agrietamiento aleatorio de las soleras que se produce con la retracción durante el fraguado del hormigón. Se consigue abriendo las juntas donde más interese. Las juntas de retracción se provocan cortando

una vez efectuada la solera con una profundidad aproximada de un tercio del espesor de esta solera. Los cortes se realizan en cuadriculas con longitudes máximas de 5 metros y en forma de cuadrado o rombo alrededor de los pilares. De esta forma evitaremos las fisuras incontroladas propias de la retracción. Ver figura 9.26.



JUNTA DE RETRACCIÓN (SERRADA)

Figura 9.26

Los espesores adecuados de la sub-base donde apoyan las soleras se determinan como los espesores de las diferentes capas que conforman una carretera, en función de la capacidad elástica que puede venir definida por el coeficiente de balasto el índice CBR.

## 9.5. LOS PAVIMENTOS EN PLANTAS INDUSTRIALES

Los clasificamos en:

- Pavimentos rígidos.
- Pavimentos flexibles.

Dentro de esta clasificación los pavimentos rígidos pueden ser continuos y discontinuos.

Se van a describir los más usados en edificación industrial.

### 9.5.1. Pavimentos rígidos continuos

La capa de rodadura es precisamente la capa superior de la solera que recibe un determinado tratamiento para que pueda soportar el transito de vehículos, los impactos propios de las operaciones que se realizan en la

Planta Industrial, así como las correspondientes agresiones que normalmente serán de tipo químico.

La capa superior de la solera (capa de rodadura) puede mejorar sus propiedades por el añadido a esta capa de los siguientes tratamientos:

— Incorporación de endurecedores al hormigón fresco después de vertido, extendido y alisado de forma que se cree una capa superficial endurecida que constituya una mezcla entre el hormigón y el propio endurecedor. El procedimiento constructivo consiste en utilizar una máquina espolvoreadora que permite una determinada dosificación de aditivo endurecedor por metro cuadrado de solera. Después del vertido de este producto es necesaria la incorporación del mismo a la capa superior de la solera, que se realiza con una máquina fratasadora, conocida como helicóptero, que consigue una mezcla uniforme en la superficie. Figura 9.27.



Figura 9.27. Fratasadora mecánica (helicóptero).

Después de una preparación previa de limpieza y nivelación, se realiza este pavimento continuo de pequeño espesor. Estos pavimentos normalmente los realizan empresas especializadas y suelen tener base cementosa, asfáltica o de resinas epoxi.

Los aditivos de que están dotados estos productos, por las empresas especializadas, les confieren propiedades que destacamos:

- Áridos de cuarzo, corindón o agregados metálicos para obtener resistencia al desgaste.
- Resina epoxi para obtener resistencia frente a determinados agentes químicos.
- Fibras conductoras para evitar corrientes estáticas (producción de chispas).

También se utilizan morteros autonivelantes. Estos productos se definen en la norma UNE-EN 23318 como capa o capas de material para revestimientos continuos puesta en obra directamente sobre la base o sobre una capa adherida o capa aislante con el fin de conseguir alcanzar el nivel deseado, recibir el revestimiento final de acabado del suelo o servir como suelo final.

Estos morteros especiales suelen estar patentados por diversas empresas especializadas, que para dar las garantías de buen funcionamiento suelen exigir la realización de su montaje in situ.

Los criterios a seguir para la elección del pavimento más adecuado en cada caso debe fundamentarse en:

- Resistencia mecánica.
- Resistencia química.
- Resistencia al deslizamiento.
- Condiciones higiénicas (en industria alimentaria).
- Conductividad.
- Elasticidad.

### **9.5.2. Pavimentos rígidos discontinuos**

Tienen que satisfacer los requerimientos funcionales de caso, como en los pavimentos continuos. Se forman por baldosas de dimensiones diversas que se colocan y nivelan sobre la solera. En el caso de edificios industriales el pavimento discontinuo más usado es el terrazo, que además suele tener un precio atractivo.

Entre los pavimentos pétreos, destacamos el terrazo, que se obtiene con cementos de alta resistencia y trozos de mármol, cuyo tamaño influye decisivamente en las propiedades resistentes de las piezas.

También para talleres, destacamos los pavimentos de madera en tacos.

También tenemos los pavimentos cerámicos de menor uso en la industria, así como los pavimentos de goma, de PVC o de linóleum.

### **9.5.3. Pavimentos flexibles**

Se definen los pavimentos flexibles como los que se deforman elásticamente frente a cargas verticales y que se recuperan una vez desaparecida la carga. Realmente lo que hacen desde un punto de vista mecánico es trasmitir las cargas a puntos del terreno capaz de soportarlas.

Normalmente son los pavimentos asfálticos compuestos por una capa de áridos aglomerados con betún asfáltico de un espesor de 2 a 5 centímetros apoyada en una base y una sub-base adecuada. Se emplean para calles exteriores a las edificaciones industriales.

Naturalmente hay más clases de pavimento para su uso por su precio está restringido para las edificaciones en plantas industriales.

## **PREGUNTAS DE AUTOEVALUACIÓN**

### **Tema noveno**

1. Se trata de un edificio para albergar un proceso de fabricación, por ejemplo un proceso de inyección de plásticos, de unas dimensiones aproximadas de 22 metros de ancho, 60 metros de longitud y 7,5 metros de altura libre bajo gancho de puente grúa de 5 toneladas que barre todo el edificio. Indicar cómo fijaría las dimensiones finales de este edificio industrial.
2. Con qué criterios definiría la estructura metálica y la cimentación del edificio de la 1 pregunta.
3. ¿Con qué criterios definiría los cerramientos del edificio de la pregunta?
4. ¿Con qué criterios definiría la cubierta del edificio mencionado?
5. ¿Qué criterios tendría en cuenta para la elección de la solera y el pavimento?
6. ¿Qué sistema de ventilación adoptaría? Justificar la solución.
7. Repetir lo anterior para un edificio dedicado a matadero general frigorífico de las mismas dimensiones.
8. ¿Por qué eligió chapa grecada en la cubierta en lugar de chapa ondulada?
9. En el edificio de la 1<sup>a</sup> pregunta, ¿cree que sería interesante realizar un «análisis de valor» una vez proyectado el edificio?
10. ¿En qué supuestos tendría sentido un recálculo para ahorrar kilos de acero en el sistema estructural?

## Tema 10

### Recopilación de normativa aplicable a plantas industriales

#### **Presentación**

El propósito de este tema es recopilar en un único documento la Legislación y Normativa vigente en España aplicable a las Plantas Industriales.

Esta recopilación fue realizada en mayo del año 2010 y es deseo del autor el ir actualizando su contenido de una forma periódica.

Hacemos notar que una parte de la Normativa tiene carácter imperativo y otra parte tiene carácter orientativo, dejando al diseñador márgenes de libertad que pueden mejorar los diseños en muchos casos, asumiendo la correspondiente responsabilidad.

#### **Objetivos**

- Dar a conocer la normativa que las diversas instituciones públicas competentes suelen mostrar de una forma dispersa, recopiladas en un único documento.
- Indicar el carácter de cada Normativa.
- Resaltar las cuestiones relativas a la seguridad y al medio ambiente.

## **10.1. NORMAS DE CARÁCTER GENERAL SOBRE LA EDIFICACIÓN**

- Ley 38/1999 de 5 de noviembre, sobre la Ordenación de la Edificación, modificados el art. 14, por LEY 25/2009, de 22 de diciembre; la disposición adicional 2, por LEY 53/2002, de 30 de diciembre y el art. 3.1, por la LEY 24/2001, de 27 de diciembre. Se dicta de conformidad con el art. 14, sobre entidades y laboratorios de ensayos para el control de calidad de la edificación: Real Decreto 410/2010, de 31 de marzo y aprobando el código técnico de la edificación: Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo.
- Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo. Código Técnico de la Edificación; modificado el art. 4.4 de la parte I, por Real Decreto 410/2010, de 31 de marzo, los Arts. 1, 2, 9, 12, de la Parte I, las secciones SI. 3, SI. 4, el Anejo SI. A y añadido el art. 9 de la Parte II, por Real Decreto 173/2010, de 19 de febrero, por ORDEN VIV/984/2009, de 15 de abril y por Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre. Se corrigen errores y erratas en BOE núm. 22, de 25 de enero de 2008. Se dicta de conformidad el art. 4.3, regulando el Registro General del GTE: ORDEN VIV/1744/2008, de 9 de junio.

Se dicta en relación aprobando el reglamento de instalaciones térmicas en los edificios: Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio y con la creación del Consejo para la Sostenibilidad, Innovación y Calidad de la Edificación: REAL DECRETO 315/2006, de 17 de marzo.

- Real Decreto 47/2007 de 19 de enero, sobre la Certificación energética de edificios de nueva construcción. (CORRECCIÓN de errores en BOE núm. 276 de 17 de noviembre de 2007).

## **10.2. NORMAS SOBRE ESTRUCTURAS EN LA EDIFICACIÓN**

- Código Técnico de la Edificación, Real Decreto 314/2006:
  - DB SE1 Resistencia y estabilidad.
  - DB SE2 Aptitud al servicio.
  - DB SE-AE Acciones en la edificación.
  - DB SE-C Seguridad Estructural - Cimientos.
  - DB SE-A Seguridad Estructural - Acero.
  - DB SE-F Seguridad Estructural - Fábrica.

- DB SE-M Seguridad Estructural - Estructuras de Madera.
- Real Decreto 997/2002 de 27 de septiembre, con la Norma de construcción sismorresistente. Parte general y edificación (NCSR-02).
- Real Decreto 1247/2008 de 18 de julio, Instrucción de hormigón estructural, «EHE» (CORRECCIÓN de errores en BOE núm. 309, de 24 de diciembre de 2008).
- Real Decreto 1630/1980 de 18 de julio, Fabricación y Empleo de elementos resistentes para pisos y cubiertas.

### **10.3. SEGURIDAD EN LA UTILIZACIÓN, SALUBRIDAD**

- Código técnico de la Edificación, Real Decreto 314/2006:
  - Exigencia básica SU 1: Seguridad frente al riesgo de caídas.
  - Exigencia básica SU 2: Seguridad frente al riesgo de impacto o atrapamiento.
  - Exigencia básica SU 3: Seguridad frente al riesgo de aprisionamiento.
  - Exigencia básica SU 4: Seguridad frente al riesgo derivado de iluminación inadecuada.
  - Exigencia básica SU 5: Seguridad frente al riesgo derivado de altas ocupaciones.
  - Exigencia básica SU 6: Seguridad frente al riesgo de ahogamiento.
  - Exigencia básica SU 7: Seguridad frente al riesgo relacionado con vehículos en movimiento.
  - Exigencia básica SU 8: Seguridad frente al riesgo relacionado con la acción del rayo.
- Código técnico de la Edificación, Real Decreto 314/2006:
  - Exigencia básica HS 1: Protección frente a la humedad.
  - Exigencia básica HS 2: Eliminación de residuos.
  - Exigencia básica HS 3: Calidad del aire interior.
  - Exigencia básica HS 4: Suministro e agua.
  - Exigencia básica HS 5: Evacuación de aguas residuales
- Código técnico de la Edificación, Real Decreto 314/2006:
  - Exigencia básica HE 1: Limitación de demanda energética.

- Exigencia básica HE 2: Rendimiento de las instalaciones térmicas.
- Exigencia básica HE 3: Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación.
- Exigencia básica HE 4: Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria.
- Exigencia básica HE 5: Contribución foto voltaica mínima de energía eléctrica.
- Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, por el que se aprueba el documento básico «DB-HR Protección frente al ruido» del Código Técnico de la Edificación y se modifica el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.

#### **10.4. EQUIPOS E INSTALACIONES GENERALES**

- Real Decreto 2060/2008, de 12 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de equipos a presión y sus instrucciones técnicas complementarias (ITC). Se modifican los arts. 2 a 4, 7, las disposiciones adicionales 1, 2, los anexos I a TV, las ITC EP-1, EP-2, EP-5, EP6 y SE AÑADEN las disposiciones adicionales 6 a 9 , por Real Decreto 560/2010, de 7 de mayo y se corrigen errores, suprimiendo la disposición transitoria octava, en BOE núm. 260 de 28 de octubre de 2009.
  - Instrucciones técnicas complementarias (Real Decreto 2060/2008):
    - ITC EP-1 - Calderas.
    - ITC EP-2 - Centrales generadoras de energía eléctrica.
    - ITC EP-3 - Refinerías y plantas petroquímicas.
    - ITC EP-4 - Depósitos criogénicos.
    - ITC EP-5 - Botellas de equipos respiratorios autónomos.
    - ITC EP-6 - Recipientes a presión transportables.
  - REAL DECRETO 769/1999, de 7 de mayo, por el que se dictan las disposiciones de aplicación de la Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo, 97/23/CE, Directiva 97/23/CEE, relativa a equipos a presión (PED).
    - Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC) del REAL DECRETO 1244/1979 derogado:
      - ITC-MIE-API: calderas, economizadores, precalentadores, sobrecalentadores y recalentadores.

- ITC-MIE-AP2: Tuberías para fluidos relativos a calderas.
- ITC-MIE-AP5: Extintores de incendios.
- ITC-MIE-AP7: Botellas y botellones.
- ITC-MIE-AP9: Recipientes frigoríficos.
- ITC-MIE-AP10: Depósitos criogénicos.
- ITC-MIE-API 1: Aparatos destinados a calentar o acumular agua caliente fabricados en serie.
- ITC-MIE-API2: Calderas de agua caliente.
- ITC-MIE-API3: Intercambiadores de calor.
- ITC-MIE-API5: Instalaciones de GNL en depósitos criogénicos.
- ITC-MIE-API6: Centrales térmicas generadoras de energía eléctrica.
- ITC-MIE-API7: Instalaciones de aire comprimido.

## **10.5. INSTALACIONES DE COMBUSTIBLES LÍQUIDOS**

- Real Decreto 2085/1994 de 20 de octubre, Reglamento de Instalaciones Petrolíferas. Modificados los arts. 4, 6 y 8, por Real Decreto 560/2010, de 7 de mayo; los arts. 2, 6 y 8, por Real Decreto 1523/1999, de 1 de octubre (Ref. 1999/20723) y la instrucción MI-IP02, por Real Decreto 1562/1998 de 17 de julio (Ref. 1998/19183). Se corrigen errores en boe núm. 94, de 20 de abril de 1995. Se aprueban las siguientes Instrucciones Técnicas complementarias (ITC):

- Instrucción técnica complementaria MI-IP 06: Real Decreto 1416/2006, de 1 de diciembre.
- Instrucción técnica complementaria MI-IP05: Real Decreto 365/2005, de 8 de abril.
- Instrucción técnica complementaria MI-IP03, por Real Decreto 1427/1997, de 15 de septiembre.
- Instrucción técnica complementaria MI-IP04, por Real Decreto 2201/1995, de 28 de diciembre.

- Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC):

- ITC-MI-IP01. Refinerías.

- ITC-MI-IP02. Parques de Almacenamiento de Líquidos Petrolíferos.
- ITC-MI-IP03. Instalaciones petrolíferas para uso propio. Instalaciones de almacenamiento para su consumo en la propia instalación.
- ITC-MI-IP04. Instalaciones fijas para distribución al por menor de carburantes y combustibles petrolíferos en instalaciones de venta al público. Instalaciones para suministro a vehículos.
- ITC-MI-IP05. Instaladores o reparadores y empresas instaladoras o reparadoras de productos petrolíferos líquidos.
- ITC-MI-IP06. Procedimiento para dejar fuera de servicio los tanques de almacenamiento de productos petrolíferos líquidos.

## **10.6. INSTALACIONES DE COMBUSTIBLES GASEOSOS**

- Directiva 90/396/CEE (Aparatos de gas).
- Real Decreto 919/2006 con el Reglamento técnico de distribución y utilización de combustibles gaseosos y sus instrucciones técnicas complementarias ICG01 a ICG11; modificados los arts. 3, 8, las ITC ICG 08 y 09, se sustituye lo indicado, se reenumera la disposición adicional única como 1 y se añaden las disposiciones adicionales 2 a 5, por Real Decreto 560/2010, de 7 de mayo.
- Instrucciones técnicas complementarias ICG 01 a ICG 11:
  - ITC-ICG 01 Instalaciones de distribución de combustibles gaseosos por canalización.
  - ITC-ICG 02 Centros de almacenamiento y distribución de envases de gases licuados del petróleo (GLP).
  - ITC-ICG 03 Instalaciones de almacenamiento de gases licuados del petróleo (GLP) en depósitos fijos.
  - ITC-ICG 04 Plantas satélite de gas natural licuado (GNL).
  - ITC-ICG 05 Estaciones de servicio para vehículos a gas.
  - ITC-ICG 06 Instalaciones de envases de gases licuados del petróleo (GLP) para uso propio.
  - ITC-ICG 07 Instalaciones receptoras de combustibles gaseosos.

- ITC-ICG 08 Aparatos de gas.
- ITC-ICG 09. Instaladores y empresas instaladoras de gas.
- ITC-ICG 10. Instalaciones de gases licuados del petróleo (GLP) de uso doméstico en caravanas y autocaravanas.
- ITC-ICG 11. Relación de normas UNE de referencia.

## **10.7. ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS QUÍMICOS**

- 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. Se modifican los arts. 1 a 3 y 6.2, la disposición final 1 y las instrucciones técnicas complementarias MIE APQ-1 a 7 y se añade la MIE APQ-9, por Real Decreto 105/2010, de 5 de febrero. Se corrigen errores en BOE núm. 251, de 19 de octubre de 2001. Se aprueba la instrucción técnica complementaria MIE APQ-8 en Real Decreto 2016/2004, de 11 de octubre.

- Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC):

- MIE-APQ 1 «Almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles».
- MIE-APQ 2 «Almacenamiento de óxido de etileno».
- MIE APQ-3 «Almacenamiento de cloro».
- MIE-APQ-4 «Almacenamiento de amoníaco anhidro».
- MIE-APQ-5 «Almacenamiento y utilización de botellas y botellones de gases comprimidos, licuados y disueltos a presión».
- MIE-APQ-6 «Almacenamiento de líquidos corrosivos».
- MIE-APQ 7 «Almacenamiento de líquidos tóxicos».
- MIE APQ-8 «Almacenamiento de fertilizantes a base de nitrato amónico con alto contenido en nitrógeno».

## **10.8. INSTALACIONES DE CALEFACCIÓN, CLIMATIZACIÓN Y AGUA CALIENTE SANITARIA**

- Real Decreto 140/2003 de 7 de febrero con los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.

- Real Decreto 1027/2007 de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE). Se modifican el capítulo VIII, arts. 17, 19, 20 a 26, 28, 34 a 42 y se añaden las disposiciones adicionales 1, 2 y los apéndices 4 y 5, por Real Decreto 249/2010, de 5 de marzo. Se modifica a parte II del anexo, por Real Decreto 1826/2009, de 27 de noviembre. Corrección de errores en BOE núm. 51, de 28 de febrero de 2008.
- Real Decreto 3099/1977, de 8 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento de Seguridad para Plantas e Instalaciones Frigoríficas. Se deroga el art. 9.b y se declara no aplicable al supuesto regulado el art. 8 por el Real Decreto 1618/1980, de 4 de julio. Se modifican los arts. 26, 27, se sustituye lo indicado y se añaden las disposiciones adicionales 6 a 9, por Real Decreto 560/2010, de 7 de mayo. Se modifican los arts. 3, 28, 29, 30, 31 y disposición adicional tercera, por el Real Decreto 394/1979, de 2 de febrero. Se corrigen errores en BOE núm. 34, de 9 de febrero de 1978 y en BOE núm. 9, de 11 de enero de 1978.

#### **10.9. INSTALACIONES ELECTRICAS**

- Directiva 97/53/CEE de 11 de septiembre de 1997, relativo a material eléctrico utilizable en atmósfera potencialmente explosiva.
- Ley 54/1997 de 27 de noviembre. Ley del Sector Eléctrico.
- Real Decreto 842/2002 de 2 de agosto por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión e Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC) BT 01 a BT 51. Se modifica el art. 22, la ITC BT03, se sustituye lo indicado y se añaden las disposiciones adicionales 1 a 4, por Real Decreto 560/2010, de 7 de mayo. Se declara la nulidad del inciso 4.2.C.2 de la ITC BT- 03, por sentencia del TS de 17 de febrero de 2004.
- REAL DECRETO 223/2008, de 15 de febrero, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC- LAT 01 a 09. Se modifican los Arts. 13.1, 16, 19, la ITC-LAT 03, se sustituye lo indicado, y se añaden las disposiciones adicionales 1 a 4, por Real Decreto 560/2010, de 7 de mayo. Corrección de errores en BOE núm. 174 de 19 de julio de 2008. Corrección de erratas en BOE núm. 120 de 17 de mayo de 2008.

- REAL DECRETO 2819/1998, de 23 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte y distribución de energía eléctrica. Se deroga el capítulo III, por Real Decreto 222/2008, de 15 de febrero y el art. 6 y el anexo V, por Real Decreto 325/2008, de 29 de febrero. Corrección de errores en BOE núm. 43, de 19 de febrero de 1999.
- Real Decreto 1890/2008 de 14 de noviembre, Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus instrucciones Técnicas complementarias EA-01 a EA-07
- Resolución de 14 de octubre de 2002 de la Dirección General de Política Tecnológica, por la que se hacen pública las normas armonizadas que satisfacen las exigencias de seguridad del material eléctrico destinado a ser utilizado en determinados límites de tensión.

#### **10.10. INSTALACIONES DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS**

- Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios. En Real Decreto 560/2010, de 7 de mayo, se modifican los arts. 10, 11, 13, 14, 16 a 18, se sustituye, se reenumera la disposición adicional única como 1 y se añaden las disposiciones adicionales 2 a 5. Los apartados 5, 7 y 9 y el anexo del apéndice 1 y las tablas I y II del apéndice 2, se modifican por orden de 16 de abril de 1998. Se corrigen errores en BOE núm. 109, de 7 de mayo de 1994.
- Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales. En Real Decreto 560/2010, de 7 de mayo, se modifican arts. 4.2 y 5.
- Código técnico de la Edificación, Real Decreto 314/2006:
  - Exigencia Básica SI 1: Propagación interior.
  - Exigencia Básica SI 2: Propagación exterior.
  - Exigencia Básica SI 3: Evacuación de ocupantes.
  - Exigencia Básica SI 4: Instalaciones de protección contra incendios.
  - Exigencia Básica SI 5: Intervención de bomberos.
  - Exigencia Básica SI 6: Resistencia al fuego de la estructura.

## **10.11. PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES**

- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de riesgos laborales.
- Real Decreto 627/1997 de 24 de octubre, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.
- Real Decreto 1215/1997 de 18 de julio de 1997, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización de los trabajadores de los equipos de trabajo. Transpone las directivas europeas: 95/63/CE, de 5 de diciembre y 89/655/CEE, de 30 de noviembre.
- Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.
- Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- Real Decreto 487/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas que entraña riesgos, en particular dorsolumbares, para los trabajadores.
- Real Decreto 488/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas al trabajo con equipos que incluyen pantallas de visualización.
- Real Decreto 664/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo.
- Real Decreto 665/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo.
- Real Decreto 396/2006, de 31 de marzo, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud aplicables a los trabajos con riesgo de exposición al amianto.
- Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido.

- Real Decreto 681/2003, de 12 de junio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo.
- Real Decreto 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.
- Real Decreto 374/2001, de 6 de abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.
- Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.
- Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el reglamento de los servicios de prevención.
- LEY 32/2006, de 18 de octubre, reguladora de la subcontratación en el Sector de la Construcción.
- REAL DECRETO 1109/2007, de 24 de agosto, por el que se desarrolla la Ley 32/2006, de 18 de octubre, reguladora de la subcontratación en el Sector de la Construcción.

#### **10.12. LEGISLACIÓN MEDIO AMBIENTE**

- Decreto 2414/1961 de 30 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de actividades molestas, insalubres, nocivas y peligrosas.
- Ley 37/2003 de 17 de noviembre, sobre el Ruido, que transpone la directiva europea 2002/49/CE, de 25 de junio.
- REAL DECRETO 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.
- REAL DECRETO 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental. Transpone parcialmente la directiva 2002/49/CE, de 25 de junio.

### **10.13. EVALUACIÓN IMPACTO AMBIENTAL**

- REAL DECRETO LEGISLATIVO 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos. La Ley 6/2010, de 24 de marzo, modifica los arts. 2.2, 5, 6, 7, 9, 10.2, 12, 15, 16, disposiciones adicional 1, finales 1 y 2 y añade el art. 18 bis, disposiciones adicional 6 y final 3.
- Ley 16/2002 de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.
- REAL DECRETO 509/2007, de 20 de abril, por el que se aprueba el Reglamento para el desarrollo y ejecución de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación. REAL DECRETO 367/2010, de 26 de marzo, modifica los arts. 8, 11 y 12 y añade el art. 13 bis y la disposición adicional 3.

## ANEXOS

A continuación, y como ejemplos, se incluyen los tres siguientes ANEXOS.

- ANEXO N.<sup>o</sup> 1. Ejemplo de Estudio de Viabilidad Económico de una Planta Industrial.
- ANEXO N.<sup>o</sup> 2. Ejemplo de Implantación del equipo principal de una Central de Ciclo Combinado. Aplicación simplificada del método Muther.
- ANEXO N.<sup>o</sup> 3. Ejemplo de una Implantación General. Fábrica de envases de vidrio.

Con estos ejemplos se persiguen los siguientes objetivos:

- Presentar un caso sencillo con las hipótesis que se indican de un Estudio de Viabilidad Económico de una Planta Industrial. Este estudio se presenta en un CD con el objetivo de que variando los parámetros de la inversión se puedan estudiar y resaltar las variaciones de los resultados, pudiendo analizarse las sensibilidades frente a variaciones que se puedan producir en los diferentes escenarios.
- Presentar un caso simplificado de la implantación parcial del equipo principal de una planta de proceso en al cual se produce electricidad, utilizando como materia prima el gas natural. Básicamente se pretende mostrar los diferentes pasos a realizar hasta llegar a una implantación parcial del equipo principal en base al diagrama de flujo del proceso y al tamaño de los equipos principales. Naturalmente esta implantación parcial resultante se podrá o se modificará en función de las características de los terrenos.
- En tercer lugar se presenta la forma de proceder en el caso de una implantación general, partiendo de las implantaciones parciales de las diferentes áreas de la Planta, es decir:
  - Área de Proceso.
  - Área de servicios auxiliares.
  - Área de servicios de personal.
  - Área de servicios generales.

Igualmente pretende mostrar la metodología en un caso sencillo. También al final de cada ANEXO se realizarán preguntas de autoevaluación

## Anexo n.º 1

### Ejemplo de estudio de viabilidad económico de una planta industrial

De acuerdo con los criterios expuestos en el tema segundo desarrollamos a continuación un ejemplo del estudio de Viabilidad Económica de una Planta Industrial.

Este ejemplo muestra la metodología a seguir y además está desarrollado con un programa que permite aplicarlo en diferentes supuestos de Plantas Industriales. El programa se incluye con el libro para su utilización.

Se pretende que el promotor de la Planta Industrial e incluso los proyectistas de la misma, conozcan en cada momento la influencia en la rentabilidad que tienen los diferentes parámetros y variables, que pueden existir en los diferentes escenarios en que puede funcionar la planta. Recordemos que en el tema sexto analizábamos el caso de la influencia de las variaciones del inmovilizado en la rentabilidad. De igual modo, podemos analizar el impacto de las variaciones del coste de la mano de obra, del coste de las materias primas, de la energía, etc.

### **ESTUDIOS DE VIABILIDAD ECONÓMICA DE UN PROYECTO**

Para la realización de la viabilidad económica de un proyecto, se considera necesario realizar los siguientes estudios/criterios de rentabilidad económica, todos ellos referidos a la planta en cuestión:

1. Cuenta de Explotación, resultado de los Ingresos en ventas anuales menos costes de explotación en materias primas, mano de obra, servicios, mantenimientos, impuestos, amortizaciones, etc., obteniéndose el Beneficio Antes de Impuestos (BAI) y Beneficio Despues de Impuestos (BDI).
2. Cálculo de Capital Circulante necesario para la operación anual del proyecto considerando entre otros: stocks (en materias primas, productos en fabricación y productos terminados) y en Cuentas a Clientes, Caja y Bancos y Proveedores.
3. Realización del Cálculo de Flujos de Caja, desde el año que se inicia la construcción hasta la finalización de la vida útil del proyecto.

Para la realización de los Flujos de Caja se asignarán en cada año los valores previstos de:

- (1) Inmovilizado desglosado en capital fijo y circulante.
  - (2) Ingresos por ventas anuales.
  - (3) Costes anuales de explotación, sin olvidar el coste de las amortizaciones.
  - (4) Beneficio Antes de Impuestos (BAI) como resultado de las Ventas (2) - Costes (3).
  - (5) Impuesto de Sociedades. Normalmente el 35% del BAI (4).
  - (6) Beneficio Despues de Impuestos (BDI) = BAI (4) - Impuesto de Sociedades (5).
  - (7) Flujo Generado (FG) como resultado del BDI (6) más las amortizaciones.
  - (8) Flujo de Caja Operativo (FCO), como resultado del FG (7) menos las inversiones totales (1).
4. Cálculo de los FCO actualizado con la tasa de interés. Coste del dinero (r).
5. Cálculo del VAN (Valor Actual Neto):

$$VAN = \sum \frac{FCO}{(1 + r)n}$$

6. Cálculo del TIR (Tasa Interna de Retorno) correspondiente al valor de r que hace que el VAN sea igual a cero y de la curva VAN / Tasa de Interés que nos indica el valor del VAN para cada Tasa de Interés.
7. Cálculo de TRB (Tasa de Rentabilidad Bruta) = BAI / Inversión, y cálculo de TRN (Tasa de Rentabilidad Neta) = BDI / Inversión.
8. PRC (Período de Recuperación de Capital) simple o con descuento utilizando los Flujos de Caja simples o actualizados.
9. RSI (Retorno Sobre Inversión = 1 / PRC simple o actualizado).
10. Cálculo del punto de equilibrio o punto muerto que indica la producción mínima necesaria para cubrir los costes fijos.
11. Estudio de la sensibilidad del proyecto a los parámetros más importantes.

A continuación, se incluye un CASO PRÁCTICO para aplicar los criterios de evaluación anteriormente mencionados.

## Características del proyecto

Vida útil del proyecto	<b>10,00</b>	años		AÑO NATURAL	365 días
Período de construcción	<b>2,00</b>	años		AÑO COMERCIAL	360 días
Inversión en inmovilizado				Niveles de Stock	
Inmovilizado (excepto terreno)	9000,00	KE		Materias primas	15 días año natural
Terreno	<b>600,00</b>	KE	Coef. Multiplicador 1	Productos en curso (1)	2 días año natural
Total	9600,00	KE		Prod. Terminados (al Coste)	15 días año natural
Periodificación de la inversión				Cuentas	
Primer año 60%	5760,00	KE		Clientes cobros a (2)	60 días año comercial
Segundo año 40%	3840,00	KE		Caja y Bancos pagos (2)	15 días año comercial
Valor residual 0 excepto terreno	<b>600,00</b>	KE		Proveedores pagos (3)	60 días año comercial
Amortización Lineal	900,00	KE			
Coste materias primas año	<b>2120,00</b>	KE			
Costes salariales año	900,00	KE			
Costes servicios auxiliares					
Adq. Gasoleo/electricidad	1400,00	KE		(1) sobre mat. primas, serv. aux., mant., personal. ibi.	
Generador (vapor/agua refrig.)	<b>200,00</b>	KE		(3) sobre mat. primas, servic. aux. adquiridos, mant.	
Total	1600,00	KE			
Mantenimiento y varios	500,00	KE			
Impuestos -IBI	<b>22,00</b>	KE			
INGRESOS POR VENTAS	7600,00	KE	Coef. Multiplicador 1	Costes fijos: Personal, Mant., IBI, Amortización	
	7600,00	KE		Costes variables: Materias primas y servicios auxiliares	
Producción	36000,00	faño			
Impuesto sociedades	0,35				

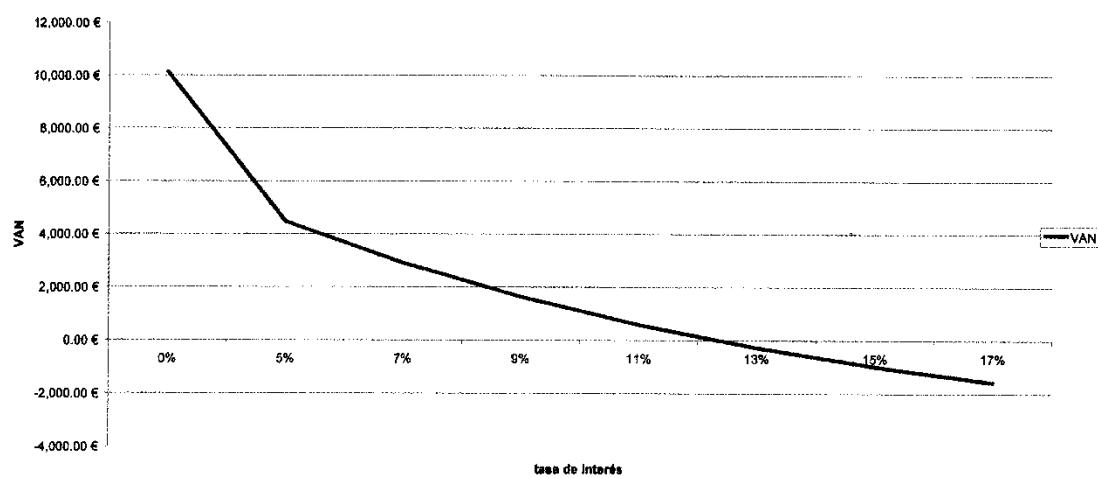
Costes anuales de explotación		Cálculo capital circulante	
1. Materias primas	2.120,00	Para productos en curso	Para proveedores
2. Mano de obra	900,00	Materia prima 2.120,00	2.120,00
3. Servicios auxiliares	1.600,00	Mano obra 900,00	0,00
adquiridos	1400	Serv. auxiliares 1.600,00	1.400,00
generados	200	Mant. y varios 500,00	500,00
4. Mantenimiento y varios	500,00	Impuestos 22,00	0,00
5. Impuestos e IBI	22,00	Total 5.142,00	4.020,00
Subtotal	5.142,00		
6. Amortización	900,00	Stocks	
	6.042,00	Materias primas	87,12
TOTAL COSTES		Prod. en fabricación	28,18
CUENTA DE EXPLOTACIÓN		Prod. terminados	248,30
INGRESOS ANUALES (VENTAS)	7.600,00	Cuentas de	
BENEFICIO BRUTO (BAI)	1.558,00	Clientes	1.007,00
IMPUESTO SOCIEDADES (35%)	545,30	Caja y Bancos	251,75
BENEFICIO NETO (BDI)	1.012,70	Proveedores	-670,00
		TOTAL CAPITAL CIRCULANTE	952,35

## Flujos de caja

		Año 2	Año 1	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
INMOVILIZADO													
	Fijo	- 5760, 00	- 3840, 00										600,00
	Circulante			- 952,3 5									952,0 0
	Total	- 5760, 00	- 3840, 00	- 952,3 5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1552, 00
VENTAS				7600, 00	7600, 00	7600, 00	7600, 00	7600, 00	7600, 00	7600, 00	7600, 00	7600, 00	7600, 00
COSTES													
	Producción			- 5142, 00	- 5142, 00	- 5142, 00	- 5142, 00	- 5142, 00	- 5142, 00	- 5142, 00	- 5142, 00	- 5142, 00	- 5142, 00
	Amortización			- 900,0 0	- 900,0 0	- 900,0 0	- 900,0 0	- 900,0 0	- 900,0 0	- 900,0 0	- 900,0 0	- 900,0 0	- 900,0 0
	Total costes			- 6042, 00	- 6042, 00	- 6042, 00	- 6042, 00	- 6042, 00	- 6042, 00	- 6042, 00	- 6042, 00	- 6042, 00	- 6042, 00
BAI				1558, 00	1558, 00	1558, 00	1558, 00	1558, 00	1558, 00	1558, 00	1558, 00	1558, 00	1558, 00
IMPUESTO SOCIEDADES				545,3 0	545,3 0	545,3 0	545,3 0	545,3 0	545,3 0	545,3 0	545,3 0	545,3 0	545,3 0
BDI				1012, 70	1012, 70	1012, 70	1012, 70	1012, 70	1012, 70	1012, 70	1012, 70	1012, 70	1012, 70
AMORTIZACIÓN				900,0 0	900,0 0	900,0 0	900,0 0	900,0 0	900,0 0	900,0 0	900,0 0	900,0 0	900,0 0
FLUJO GENERADO				1912, 70	1912, 70	1912, 70	1912, 70	1912, 70	1912, 70	1912, 70	1912, 70	1912, 70	1912, 70
FLUJO CAJA OPERATIVO		- 5760, 00	- 3840, 00	- 960,3 5	1912, 70	1912, 70	1912, 70	1912, 70	1912, 70	1912, 70	1912, 70	1912, 70	3465, 00

TIR		12,31%							
Tasa de Interés	0%	5%	7%	9%	11%	13%	15%	17%	
VAN	10.127,00 €	4.469,27	2.908,46 €	1.631,74 €	583,94 €	-278,41 €	-989,80 €	-1.577,70 €	

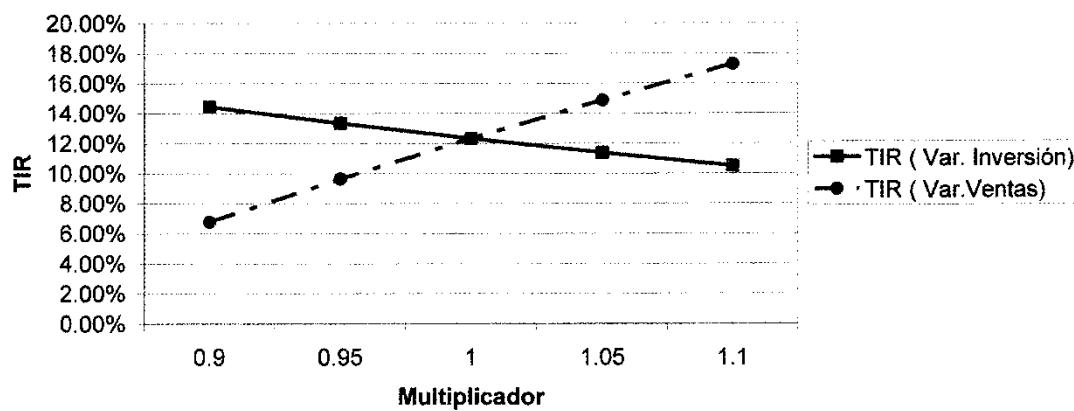
VAN - Tasa de Interés



### Sensibilidad

	Año 2	Año 1	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Flujo de caja	5760,0 0	3840,0 0	-	960,35	1912,7 0	3465,0 5						
T.I.R,			12,31 %									
Multiplicador	0, 9	0,9 5			1,0 5	1,1						
TIR (Var, Inversión)	14,42%	13,33 %	12,31 %	11,37 %	10,48 %							
TIR (Var. Ventas)	6,76 %	9,62%	12,31 %	14,86 %	17,29 %							

TIR - Multiplicador



BAI:	1558,00	INVERSIÓN		TRB:	14,70%
BDI:	1012,70	Inmovilizado: Circulante	9600,00 952,35	TRN	9,60%
		Total:	10552,35		
PRC (con descuento)	FC FCACUM	desc:	7%		
Año-2	-5.760,00	-5.760,00			
año-1	-3.588,79	-9.348,79			
año 1	838,81	-8.509,98			
año 2	1.561,33	-6.948,65			
año 3	1.459,19	-5.489,46			
año 4	1.363,73	-4.125,73			
año 5	1.274,51	-2.851,21			
año 6	1.191,13	-1.660,08			
año 7	1.113,21	-546,87			
año 8	1.040,38	493,51			
año 9	972,32	1.465,83			
año 10	1.646,22	3.112,05			
PRC	6,63				
RSI=1/PRC	15,32%				

PRC (sin descuento)	FC FCACUM		
Año -2	-5760,00	-5.760,00	
año -1	-3840,00	-9.600,00	
año I	960,35	-8.639,65	
año 2	1912,70	-6.726,95	
año 3	1912,70	-4.814,25	
año 4	1912,70	-2.901,55	
año 5	1912,70	-988,85	
año 6	1912,70	923,85	
año 7	1912,70	2.836,55	
año 8	1912,70	4.749,25	
año 9	1912,70	6.661,95	
año 10	3465,05	10.127,00	
PRC	5,52		
RSI=1/PRC	18,13%		

Punto Equilibrio: Costes Fijos/Margen/T 21.544,33

Punto de equilibrio					
Costes Fijos	Costes variables				
Mano obra	900.000,00	Materias primas:	2.120.000,00		
Mantenimiento	500.000,00	Servicios auxiliares:	1.600.000,00		
IBI	22.000,00				
Amortización	900.000,00				
Total Costes Fijos	2.322.000,00	Total Costes Variables:	3.720.000,00		
Ingresos	7.600.000,00				
Producción	36.000,00				
Ingreso/T	211,11	Coste Variable/T:	103,33	Margen/T	107,78

## Anexo n.º 2

### Ejemplo de implantación de una central de ciclo combinado.

#### Aplicación simplificada del método Muther

Se trata de mostrar de una manera simplificada una aplicación del Método Muther para realizar alternativas de implantación de una Central de Ciclo Combinado, para producción de energía eléctrica, utilizando como combustible gas natural.

La descripción del proceso que se sigue en la Central y que se indica en la figura 1, se resume como sigue.

La turbina de gas (3) requiere de la aportación de gas y de aire. Ambos fluidos han de ser filtrados, (1) y (2), y en el caso del gas se debe inyectar en la turbina en las condiciones de presión y temperatura adecuadas, lo cual se consigue en la estación de regulación y medida, ERM (2). Los gases de escape de la combustión del gas en la turbina de gas se utilizan para generar vapor en una caldera (4), para posteriormente ser expulsados a la atmósfera a través de una chimenea (5).

La caldera produce vapor, utilizando el calor residual de escape de los gases de combustión de la turbina de gas. El ciclo agua-vapor de la caldera comienza con el tratamiento del agua (12), requerido para que el agua y sobre todo el vapor, tengan la calidad requerida por la turbina de vapor, el vapor producido en la caldera se utiliza para mover la turbina de vapor. Una vez laminado vuelve a estado líquido en el condensador (6), para así retomar al circuito general. El sistema requiere de la aportación continua de agua para suplir las pérdidas por las purgas de caldera.

El funcionamiento de la turbina de gas y la turbina de vapor permite el funcionamiento del generador de energía eléctrica, al que ambos van acoplados en un solo eje y que, al fin y al cabo es el que genera la potencia eléctrica requerida. El conjunto de las tres máquinas es el denominado turbo- grupo (3), auténtico corazón del proceso.

La potencia eléctrica generada debe ser ajustada a la tensión de la red, cosa que se consigue con el transformador (7), para posteriormente volcarla en la subestación (8).

Se realiza también una alimentación general para todos los consumos propios de los equipos de la central, a través de un transformador auxiliar (10), que adapta la tensión a la tensión de uso en media tensión, así como un conjunto de sistemas y equipos

eléctricos de media y baja tensión, que agrupamos para simplificar en el capítulo de sistemas eléctricos auxiliares (11).

Finalmente el condensador mencionado anteriormente requiere un medio refrigerante. Se ha tomado el caso, más habitual, del agua, que en un circuito cerrado es enfriada en una torre de refrigeración (9). Las pérdidas de agua de esta torre son suplidas por una aportación continua de agua de refrigeración desde el exterior.

El diagrama de flujo de la figura 1 muestra esquemáticamente lo descrito anteriormente.

Los equipos principales y/o sistemas que constituyen la Central son los que figuran numerados en el Diagrama de Flujo, y son:

1. Sistema de filtrado de aire.
2. Estación de regulación y medida de gas natural (E.R.M.).
3. Turbogrupo monoeje (conjunto de turbina de gas, generador eléctrico y turbina de vapor).
4. Caldera de recuperación de gases de escape de la turbina de gas del turbogrupo.
5. Chimenea para gases enfriados de la caldera de recuperación.
6. Condensador de vapor de agua de escape de la turbina de vapor.
7. Transformador para conexión a la subestación principal.
8. Subestación para conexión a la red exterior.
9. Torre de refrigeración de agua de condensación.
10. Transformador auxiliar para consumos propios.
11. Equipo eléctrico auxiliar de conexión de la propia central.

El objeto de la implantación, es decir lo que pretendemos, es situar los equipos y sistemas descritos que constituyen la central del modo más racional en un terreno ideal. Lo anterior significa hacer la implantación u ordenación en el espacio de los equipos y sistemas que constituyen la central.

Hasta aquí conocemos todos los equipos y sistemas que constituyen la Central y su vinculación y conexiones entre ellos, por el conocimiento que tenemos del diagrama de flujo o de proceso en el cual se muestran todas las operaciones unitarias principales que se realizan con estos equipos.

Una vez conocidos los tipos de equipos que necesitamos para realizar las operaciones unitarias que constituyen el proceso de la Central, se trataría ahora de seleccionar los equipos de tal forma que estuvieran coordinados en cuanto a capacidad de producción. Es evidente que el dato de partida principal sería la capacidad de producción de energía eléctrica a exportar a la red, que sería la que condicionaría el tamaño de todos los equipos y sistemas de la planta Industrial.

Sería necesario realizar los balances de masa y energía correspondientes a cada operación unitaria, y el resultado sería la especificación técnica a cumplir por cada equipo o sistema.

Una vez elegidos los equipos o sistemas que pueden actuar coordinadamente en cuanto a capacidad de producción, obtenemos las dimensiones aproximadas principales de los mismos, que en este caso se muestran en el cuadro 2.

A continuación y de acuerdo con el diagrama de flujo de proceso y el propio conocimiento del proceso se establece la tabla de relaciones entre operaciones unitarias o actividades hace notar principalmente la importancia de dichas relaciones a través del uso de simbología de letras combinada con colores.

Se establece la categoría de las relaciones con el siguiente criterio:

SÍMBOLO	RELACIÓN DE PROXIMIDAD	COLOR
A	Absolutamente importante	ROJO
E	Especialmente importante	AMARILLO
I	Importante	VERDE
O	Normal u ordinario	AZUL
U	Sin importancia	NEGRO
X	No recomendable	MARRÓN

## Anexo n.º 3

### Ejemplo de una implantación general. Fábrica de envases de vidrio

En este caso concreto y real, el Proceso de Fabricación fue proporcionado por el promotor de la factoría, el cual también seleccionó las máquinas (en este caso Sistemas o Unidades Paquete) que realizaban las operaciones unitarias para, partiendo de un tubo de vidrio, obtener como producto terminado ampollas para contener líquido para inyectar, convenientemente envasadas. Concretamente indico la dimensión de estos sistemas de fabricación que aproximadamente ocupaban 3,5 metros de ancho por 20 metros de largo, con tendencia a que ocuparan en el futuro 25 metros de largo. Posteriormente el fabricante de las máquinas facilitó los Servicios Auxiliares que necesitaban las máquinas para funcionar.

Se determinaron los puestos de trabajo así como los servicios generales de la factoría.

**3.1.** La implantación genera la información de que se dispone. En este caso es la siguiente:

- Implantación teórica del área de proceso de la planta.
- Implantación teórica de los servicios auxiliares.
- Implantación teórica de los servicios de personal.
- Implantación teórica de los servicios generales de la fábrica.
- Parcela disponible en un polígono industrial, consolidado urbanísticamente.

A continuación se describen cada una de las áreas mencionadas y el terreno disponible.

**3.1.1.** La implantación teórica del Área de Proceso está basada en que el proceso de elaboración completo, incluso envasado, se realiza en líneas completas de fabricación de una longitud de 20 metros, que en el futuro estas líneas podrían llegar a una longitud de 25 metros. Estas líneas se disponen transversalmente al eje de la nave de fabricación, a la cual se le ha dado un ancho total de 60 metros. El ancho de cada línea es de 3,5 metros, por lo cual se ha elegido una modulación para la nave de 7 metros. El número de líneas de fabricación, así como las superficies de almacenes, hacen que la nave de fabricación tenga 119 metros de longitud. Una condición muy importante que estableció el promotor es que el área de proceso pueda ser ampliable para instalar más líneas de fabricación, también moduladas a 3,5 metros como las iniciales. Naturalmente el

módulo de 7 metros obedece a la separación de las líneas de fabricación. La luz de la nave debe ser de 30 metros para evitar interferencias con las líneas de fabricación.

La estructura es metálica y está formada por pórticos de alma llena a dos aguas con soporte articulado en el centro del vano de 60 metros. La cubierta es de dos vertientes con una pendiente del 5%, resuelta con chapa galvanizada, con una capa aislante. Como se puede apreciar al área de proceso se le adosan los almacenes de materia prima y las oficinas de fabricación que son realmente servicios generales, según la terminología que venimos empleando. No se indican más elementos constructivos porque a efectos de la implantación general no son necesarios.

**3.1.2.** La implantación teórica del Área de Servicios Auxiliares es compleja porque hay los Servicios Auxiliares que enumeramos a continuación:

- Abastecimiento de aguas con toma de la red del propio polígono. No se prevé depósito acumulador dentro de la parcela. La presión es suficiente para todos los usos (agua uso sanitario, agua de limpieza y agua para refrigerar, que es la de reposición de una torre de enfriamiento y agua para la red de incendios).
- Energía eléctrica. La alimentación se hace de la red del Polígono a 15kV. Serán necesarios dos transformadores de 500 y 800 kVA y se establecerá una red de baja tensión porque hay muchos consumidores poco importantes.
- Aire comprimido. Es fundamental el aire comprimido para el funcionamiento de las líneas de fabricaciones necesario producir y por tanto distribuir aire comprimido a tres presiones diferentes (2,6 y 8 bares). Es necesaria una sala de compresores de unas dimensiones aproximadas de 22 metros por 8 metros. Cerca de esta sala de compresores hay que situar una torre de refrigeración para el enfriamiento del agua de refrigeración de compresores.
- Torre de enfriamiento de agua. De unas dimensiones aproximadas de 2 metros por 2 metros.
- Almacenamiento de oxígeno. El oxígeno es necesario para mejorar la combustión en los mecheros de las líneas de fabricación. Se recibe en camiones en estado líquido y se almacena también en estado líquido. Posterior al almacenamiento se dispone de un vaporizador atmosférico (serpentín) para llevarlo al estado gaseoso y distribuirlo en este estado a las líneas. Necesitan esta

instalación en un área aproximada de 10 metros por 7 metros. Y acceso para camiones.

- Almacenamiento de propano. Es necesario como combustible para las llamas y para que tengan una temperatura estable. Se recibe en estado líquido por camiones y se almacena líquido en un tanque horizontal de 115 metros cúbicos. Las dimensiones aproximadas que ocupa esta instalación con el compresor de descarga son aproximadamente 10 metros por 30 metros.

**3.1.3.** Los servicios de personal. Están compuestos por servicio médico (consulta y sala de curas), aseos y vestuarios (masculinos y femeninos) y comedor para comidas preparadas. La superficie necesaria es de 20 metros por 20 metros. Además son necesarias dos viviendas para guardas de aproximadamente 150 metros cuadrados cada una.

**3.1.4.** Servicios Generales. Además de los almacenes de materias primas y productos acabados, adosados al área de Proceso, ya mencionados anteriormente están las oficinas generales. De acuerdo con el organigrama de funciones a realizar y del numero de personas, fue necesario un edificio de dos plantas de aproximadamente 300 metros cuadrados cada una. Este edificio llevaría adosado un núcleo para las escaleras y para las instalaciones de aire acondicionado.

En cuanto al terreno, se trata de una parcela prácticamente rectangular de aproximadamente 225 metros por 110 metros situada en esquina en un polígono industrial dotada de todos los servicios (agua, saneamiento separativo y energía eléctrica), con acceso sin restricciones a tres calles en sus dos dimensiones menores y en uno de los lados mayores. El otro es una medianería. La parcela tiene una pendiente sur a norte de aproximadamente 2%.

Los datos urbanísticos de las Ordenanzas del Polígono son los siguientes:

- Superficie construida: 50%.
- Limitación de volumen: sin limitación.
- Retranqueo línea de valla: 6,25 metros a línea de acera.
- Retranqueo línea fachada: 9,25 metros a línea de acera.
- Retranqueo línea de edificación a medianería: 3,00 metros.

Otros condicionantes para la implantación general son:

- No habrá uso de ferrocarril por no estar disponible en el polígono y además por no ser necesario.
- Todos los accesos interiores serán por viales (parques de oxígeno, de propano, almacén de materias primas y almacén de productos acabados).
- Se preverán entre 5 y 8 aparcamientos para el personal de dirección y visitantes y alrededor de 20 para el personal de la fabricación. Se preverá aparcamiento de camiones en entrada de muelles de carga de producto acabado y zona de descarga de materias primas.

**3.2.** Determinación de la implantación general. Con la información indicada anteriormente se procede de la siguiente forma:

- a) No hay ningún condicionamiento impuesto por trazados ferroviarios.
- b) Se establecen las limitaciones que imponen los retranqueos de las líneas de valla y las líneas de fachada, quedando delimitada la zona donde se puede implantar la factoría.
- c) Se establece el criterio de entrada y salida únicas, sin limitación en su situación
- d) Se sigue el criterio de implantación por áreas, independizando áreas de proceso o producción, área de servicios auxiliares, área de servicios de personal y área de servicios generales.
- e) Por la configuración prevista del área de proceso, resulta obligada su colocación paralela a uno de los lados mayores de la parcela al norte o al sur. Dado que uno es fachada se considera adecuada la colocación del área de proceso adosada a la medianería, con lo cual tenemos la garantía de posibles ampliaciones futuras. Con esta situación del área de proceso hay que garantizar el acceso al almacén de materias primas, lo cual implica que debe haber un vial paralelo al lado mayor del área de proceso.
- f) La cuestión es dónde situar el resto de las áreas. Las relaciones de proximidad entre el área de servicios auxiliares y el área de proceso, aunque revisten importancia, no son importantes porque todo el transporte puede ser efectuado por tuberías de pequeño o mediano diámetro; es decir, la influencia del coste de transporte es baja. No se considera necesario aplicar ningún método de implantación y únicamente se concentran todos los servicios auxiliares en la zona norte de la parcela y en el lado

este de la misma. La única consideración es el respetar distancias de seguridad entre instalaciones. Asimismo se diseña un puente de tuberías (Rack) entre la zona de producción o almacenamiento de los servicios, y el área de producción.

- g) Los servicios de personal, dadas las distancias cortas, se implantan en la zona oeste de la parcela de su lado norte.
- h) En cuanto a las oficinas se implantan a la entrada en la zona más noble y representativa.

En el plano se indica el resultado final de la implantación a la que se llegó después de estudiar tres o cuatro variantes.