

# ÍNDICE

|   |           |
|---|-----------|
| <b>TEMA 1: INTRODUCCIÓN A LA DIRECCIÓN DE LA PRODUCCIÓN ...</b>                         | <b>4</b>  |
| 1.1 PRODUCCIÓN Y DIRECCIÓN DE OPERACIONES .....   | 4         |
| 1.2 DECISIONES ESTRATÉGICAS Y TÁCTICAS .....  | 4         |
| 1.3 LA FUNCIÓN DE OPERACIONES .....   | 6         |
| 1.4 PLANIFICACIÓN EMPRESARIAL Y PLANIFICACIÓN DE OPERACIONES .....                      | 6         |
| 1.5 ENFOQUE JERÁRQUICO PARA EL PROCESO DE PLANIFICACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN..... | 7         |
| 1.6 TIPOS DE STOCK.....   | 8         |
| 1.7 PLANIFICACIÓN Y CONTROL DE INVENTARIOS.....   | 9         |
| <b>TEMA 2: PLANIFICACIÓN AGREGADA.....</b>  | <b>11</b> |
| 2.1 PLAN AGREGADO DE PRODUCCIÓN.....  | 12        |
| 2.2 OBTENCIÓN DEL PLAN AGREGADO.....  | 14        |
| 2.3 EJEMPLO DE PLANIFICACIÓN AGREGADA.....  | 16        |
| <b>TEMA 3: LOS SISTEMAS MRP (Materials Requirements Planning) ....</b>                  | <b>18</b> |
| 3.1 FUNCIONAMIENTO DEL MRP:.....  | 18        |
| 3.2 EJEMPLO SISTEMA MRP:.....   | 20        |
| 3.3. TÉCNICAS DE DIMENSIONADO DE LOTE:.....   | 24        |
| 3.4 UTILIZACIÓN DE LOS STOCKS DE SEGURIDAD:.....  | 26        |
| 3.5 REDUCCIÓN DE LOS STOCKS DE SEGURIDAD: .....   | 26        |
| 3.6 LA REPROGRAMACIÓN (ACTUALIZACIÓN) DEL MRP: .....                                    | 26        |
| 3.7. SALIDAS DEL MRP: .....   | 27        |
| <b>TEMA 4: LOS SISTEMAS MRP II (Materials Resource Planning) .....</b>                  | <b>28</b> |
| 4.1. MRP DE BUCLE CERRADO .....   | 28        |
| 4.2 MRP II: .....   | 28        |
| 4.3 MRP EN EL ÁREA DE FINANZAS Y CONTABILIDAD:.....                                     | 28        |
| <b>TEMA 5: PLANIFICACIÓN Y CONTROL A MUY CORTO PLAZO .....</b>                          | <b>30</b> |
| 5.1 FUNCIONES BÁSICAS:.....   | 30        |
| 5.2 OBJETIVOS FUNDAMENTALES: .....  | 30        |
| 5.3 PROGRAMA DE OPERACIONES: .....  | 30        |
| 5.4 ACTIVIDADES FUNDAMENTALES.....  | 31        |
| 5.5 TÉCNICAS DE ASIGNACIÓN DE CARGA A TALLERES .....                                    | 32        |
| <b>TEMA 6: EL CONTROL DE CALIDAD .....</b>  | <b>40</b> |
| 6.1 DIAGRAMA DE PARETO .....  | 40        |
| 6.2 DIAGRAMA CAUSA EFECTO .....   | 41        |

|   |           |
|---|-----------|
| 6.3 PLANTILLAS DE RECOGIDAS DE DATOS.....   | 41        |
| 6.4 HISTOGRAMA.....   | 43        |
| 6.5 DIAGRAMA BIVARIANTE.....  | 45        |
| 6.6 ESTRATIFICACIÓN.....  | 46        |
| 6.7 GRÁFICOS DE CONTROL.....  | 47        |
| 6.8 Normas y certificación ISO 9000.....  | 52        |
| <b>TEMA 7: DISEÑO DEL PROCESO PRODUCTIVO Y DISTRIBUCIÓN EN PLANTA.....</b>                      | <b>53</b> |
| 7.1 OBJETIVOS DE LA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA.....   | 53        |
| 7.2 TIPOS DE DISTRIBUCIÓN.....  | 54        |
| 7.3 CÁLCULO DE SUPERFICIE.....  | 57        |
| 7.4 MÉTODO DE LOS ESLABONES.....  | 57        |
| 7.5 GAMAS FICTICIAS.....  | 60        |
| 7.6 DISTRIBUCIÓN EN PLANTA DE SERVICIOS.....  | 61        |
| <b>TEMA 8. DISEÑO DE LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN POR PRODUCTO: EL EQUILIBRADO DE LÍNEAS.....</b> | <b>63</b> |
| 8.1 EQUILIBRADO DE PUESTOS DE TRABAJO:.....   | 63        |
| 8.2 DEFINICIÓN DE TAREAS, CAPACIDAD Y TIEMPO DE CICLO.....                                      | 63        |
| 8.3 CÁLCULO DE LA PRODUCCIÓN ANUAL.....   | 67        |
| 8.4 TIEMPO DE CICLO MÁS ADECUADO.....   | 67        |
| 8.5 IDENTIFICACIÓN DE LAS TAREAS PRECEDENTES.....   | 68        |
| 8.6 AGRUPACIÓN MEDIANTE RELACIONES DE PRECEDENCIA.....  | 68        |
| 8.7 CÁLCULO DE LA EFICIENCIA.....   | 69        |
| 8.8 TÉCNICA DE ORDENACIÓN DE LAS POSICIONES PONDERADAS.....                                     | 69        |
| 8.9 CASO PRÁCTICO.....  | 72        |
| <b>TEMA 9: JUST IN TIME.....</b>  | <b>73</b> |
| 9.1 OBJETIVOS DEL JUST IN TIME (JIT).....   | 73        |
| 9.2 ESTRATEGIAS BÁSICAS.....  | 73        |
| 9.3 HERRAMIENTAS BÁSICAS.....   | 74        |
| 9.4 JUST IN TIME EN EMPRESAS DE SERVICIOS.....  | 78        |
| 9.5 IMPLANTACIÓN DE LA FILOSOFÍA JIT.....   | 78        |
| 9.6 MRP VS JIT.....   | 79        |
| <b>TEMA 10: TEORÍA DE LAS LIMITACIONES: TOC (Theory of constraints).....</b>                    | <b>80</b> |
| 10.1 METAS SEGÚN EL ENFOQUE TOC.....  | 80        |
| 10.2 PASOS PARA LLEGAR A LA META.....   | 81        |
| 10.3. TOC APLICADA AL SUBSISTEMA DE OPERACIONES: OPT.....                                       | 82        |

|   |           |
|---|-----------|
| 10.4. EL PROCESO DBR .....  | 85        |
| <b>TEMA 11: LA GESTIÓN DE LA CALIDAD .....</b>                    | <b>87</b> |
| 11.1 CICLO GENERADOR DE CALIDAD.....                              | 87        |
| 11.2 ELEMENTOS DE LOS QUE DEPENDE LA CALIDAD .....                | 88        |
| 11.3 NIVEL ÓPTIMO DE CALIDAD .....                                | 88        |
| 11.4 COSTES DE LA CALIDAD:.....                                   | 89        |
| 11.5 COSTE TOTAL DE LA CALIDAD .....                              | 90        |
| 11.6 CALIDAD TOTAL .....  | 90        |
| <b>TEMA 12: LA LOGÍSTICA EMPRESARIAL: .....</b>                   | <b>91</b> |
| 12.1 LA CADENA DE SUMINISTRO (SCM: Supply Chain Management) ..... | 91        |
| 12.2 EL PLAN LOGÍSTICO .....                                      | 92        |
| 12.3 CLASIFICACIÓN DE MATERIALES .....                            | 93        |
| 12.4 LOGÍSTICA DE APROVISIONAMIENTO.....                          | 94        |
| 12.5 ALMACÉN:.....  | 96        |
| 12.6 LOGÍSTICA DE LA DISTRIBUCIÓN FÍSICA.....                     | 99        |
| 12.7 RED DE DISTRIBUCIÓN:.....                                    | 99        |
| 12.8 CANALES DE DISTRIBUCIÓN DE PRODUCTOS DE CONSUMO .....        | 101       |
| 12.9 NUEVAS TENDENCIAS: .....                                     | 101       |

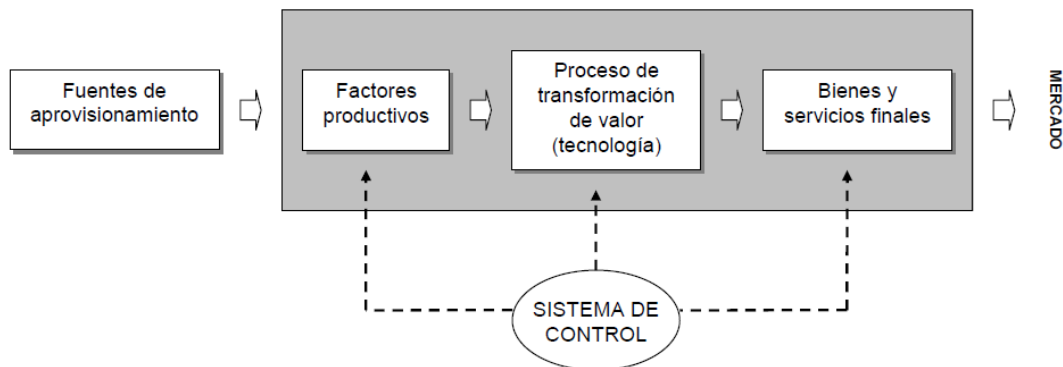


# TEMA 1: INTRODUCCIÓN A LA DIRECCIÓN DE LA PRODUCCIÓN

## 1.1 PRODUCCIÓN Y DIRECCIÓN DE OPERACIONES

**PRODUCCIÓN:** conjunto de procesos, procedimientos, métodos y técnicas que permiten la obtención de bienes y servicios, gracias a la aplicación sistemática de unas decisiones que tienen como función incrementar el valor de dichos productos para poder satisfacer unas necesidades.

**Dirección de la Producción/Operaciones:** gestión del sistema de producción que se encarga de transformar los recursos productivos (inputs) de una organización en productos y servicios finales (outputs).



El **subsistema de producción** se ocupa de todos los planes, decisiones y actividades que permiten el proceso de conversión de las entradas (factores o inputs) en salidas (productos o outputs).

- Decisiones estratégicas y tácticas
- La función de operaciones
- Planificación empresarial y planificación de operaciones
- Enfoque jerárquico para el proceso de planificación y control de la producción
- Tipos de stock
- Planificación y control de inventarios

## 1.2 DECISIONES ESTRATÉGICAS Y TÁCTICAS

Las decisiones relativas a la Dirección de Operaciones se dividen en dos grandes grupos:

- decisiones estratégicas a largo plazo
- decisiones tácticas a corto plazo.

Las **decisiones estratégicas** se caracterizan por:

- ser sobre productos, procesos e instalaciones que tienen efectos a largo plazo sobre la actividad de la organización.
- ser generalmente poco estructuradas.
- una vez tomadas, su corrección en el corto plazo es prácticamente imposible o muy costosa debido a la gran cantidad de recursos que supone su ejecución.
- su importancia es tal que deben tomarse de forma coordinada con el resto de áreas funcionales.

Son **decisiones estratégicas**:

- La selección del producto a fabricar o servicio a producir.
- El diseño más apropiado del producto o servicio a producir.
- La selección del proceso productivo y la tecnología que nos va a permitir fabricar dicho producto con los requisitos de coste, calidad y tiempo demandados por el mercado.
- La planificación estratégica del sistema de operaciones.
- La capacidad productiva de las instalaciones.
- La localización de las instalaciones en función de la ubicación del mercado objetivo y de la localización de los factores productivos necesarios para el proceso de fabricación.
- La distribución en planta de las máquinas y trabajadores, para que el flujo de producción sea lo más eficiente posible.
- Las directrices generales de la gestión de la calidad en la organización.

Las **decisiones tácticas** se caracterizan por:

- ser decisiones más estructuradas, rutinarias y repetitivas.  
Su objetivo es planificar la producción para satisfacer la demanda del mercado y maximizar los beneficios de la organización.
- se refieren también a las decisiones relativas al control de la planificación, con objeto de detectar desviaciones entre la realidad y lo planificado y poder tomar las oportunas acciones correctoras, tanto sobre los planes como sobre la ejecución de los mismos.

Son **decisiones tácticas**:

- La planificación a medio plazo y la programación de la producción (cuánto, cuándo y dónde producir).
- El nivel de inventario necesario para satisfacer sin retraso la demanda.
- El desarrollo de procedimientos estándar y medida de tiempos.
- Decisiones que garantizan el nivel de calidad de los productos.
- Decisiones relativas a las tareas de mantenimiento preventivo de la maquinaria.

## EL SUBSISTEMA PRODUCTIVO

### A nivel estratégico (decisiones a largo plazo):

- ❑ Producto o servicio?
- ❑ Capacidad?
- ❑ Dimensión?
- ❑ Recursos?
- ❑ Localización?
- ❑ Distribución en planta?
- ❑ ...

### A medio y corto plazo:

- ❑ **CONCRECIÓN** de los objetivos
- ❑ **PLANIFICACIÓN** de las cantidades y momentos en que se deben fabricar los productos o producir los servicios
- ❑ **PROGRAMACIÓN** de los artículos a fabricar o comprar necesarios para obtener el producto o servicio
- ❑ **PROGRAMACIÓN A MUY CORTO PLAZO**, las actividades a desarrollar en las diferentes unidades productivas
- ❑ **PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN** de los recursos disponibles, la capacidad disponible
- ❑ **PLANIFICACIÓN, GESTIÓN Y CONTROL DE INVENTARIOS**: Considerar las necesidades de materiales: materias primas, componentes, productos terminados

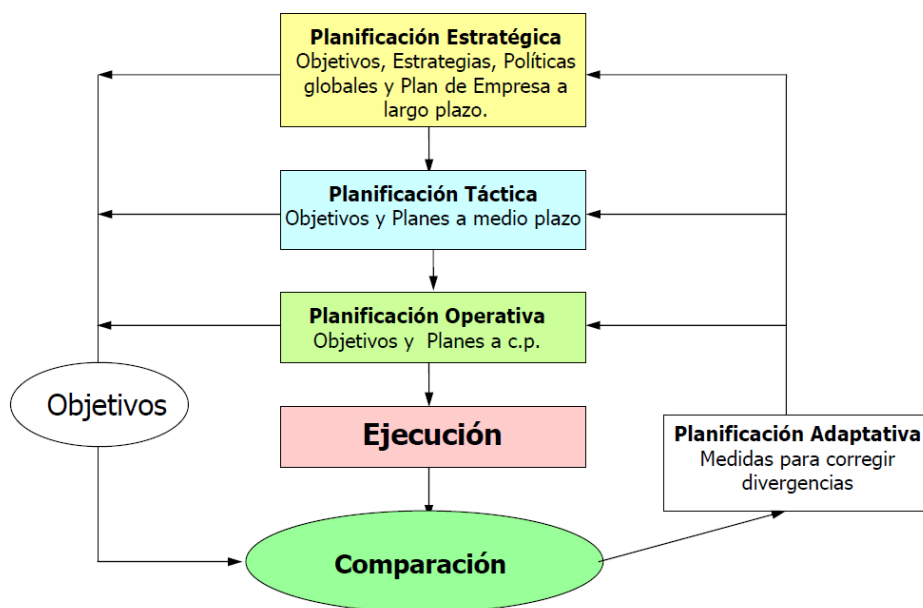
### 1.3 LA FUNCIÓN DE OPERACIONES

- PLANIFICACIÓN: Proyectar el futuro deseado, los medios necesarios y las actividades a desarrollar para conseguirlo.
- EJECUCIÓN
- CONTROL
- GESTIÓN INTEGRADA

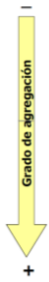
### 1.4 PLANIFICACIÓN EMPRESARIAL Y PLANIFICACIÓN DE OPERACIONES

|   |  |
|---|--|
| <p><b><u>Planificación estratégica:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 3 - 5 años</li> <li>✓ Alta Dirección</li> <li>✓ Problemas de gran amplitud</li> </ul>              | <p><b><u>Planificación operativa:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 1 año - varias semanas</li> <li>✓ Dónde, cómo, cuando se concreta la planificación estratégica</li> </ul>         |
| <p><b><u>Planificación táctica:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 1 - 3 años (18 meses)</li> <li>✓ Conexión entre la planificación estratégica y la operativa</li> </ul> | <p><b><u>Planificación adaptativa:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ medidas de corrección para eliminar posibles desviaciones de los resultados y los objetivos iniciales</li> </ul> |

#### Proceso de Planificación y Control en la Empresa



## TIPOS DE UNIDADES



- **Componentes:** cada una de las partes que integran un producto final.
- **Productos:** resultado final del proceso de producción que será distribuido a los consumidores.
- **Familias:** grupo de productos o servicios que tienen similares requerimientos de demanda, similitudes en el proceso, trabajo y materiales comunes.
- **Tipos:** grupos de familias que comparten una misma tendencia de comportamiento en su demanda.

## 1.5 ENFOQUE JERÁRQUICO PARA EL PROCESO DE PLANIFICACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN

### Proceso de Planificación y Control de la Producción

#### Etapas (1)

##### □ Plan Estratégico o Plan de Empresa (L.P.)

A partir de:

- Previsiones de demanda a Largo Plazo
- Plan de Ventas a Largo Plazo
- Plan de Producción a Largo Plazo
- Plan Financiero a Largo Plazo

##### □ Plan Agregado de Producción (M.P.)

- Trata de cumplir el plan estratégico al menor coste posible
- Planificación a 18 meses en períodos mensuales.
- Planificación en familias de productos.
- Es necesario valorar la capacidad existente

### Proceso de Planificación y Control de la Producción

#### Etapas (2)

##### □ Programa Maestro de Producción (MPS)

- Planificación en productos concretos
- Planificación a 1 año en períodos semanales
- Debe ser estable para garantizar la fabricación pero flexible para adaptarse a posibles cambios de demanda
- Es necesario un análisis aproximado de la capacidad (Rough-cut)

##### □ Plan de Materiales

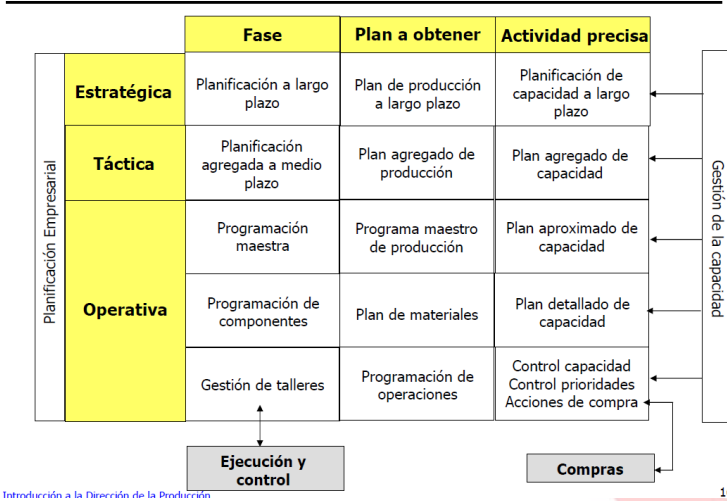
- programación detallada de los componentes
- planificación detallada de capacidad

##### □ Ejecución y control

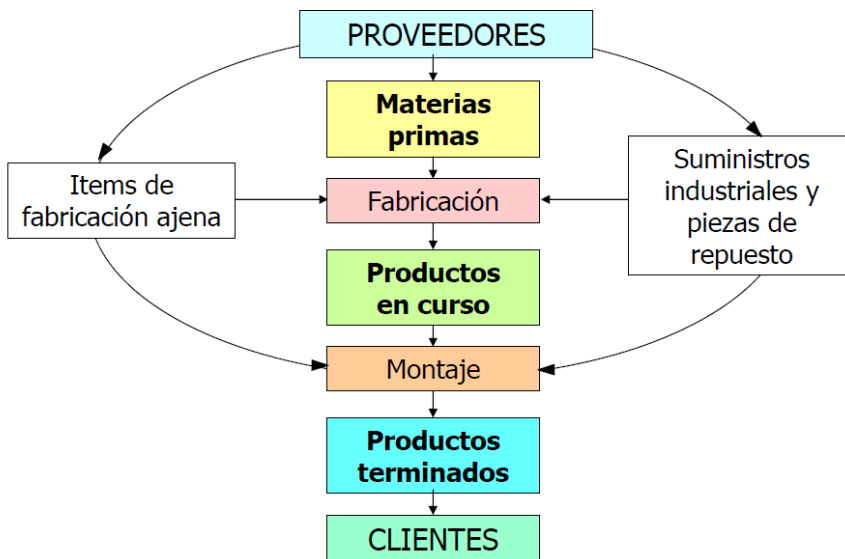
- Programación de operaciones
- Acciones de compra



**Proceso de planificación y control de la producción**



**1.6 TIPOS DE STOCK**





## 1.7 PLANIFICACIÓN Y CONTROL DE INVENTARIOS

- Un **inventario** es cualquier recurso ocioso almacenado en espera de ser utilizado.
- **Stocks** = capital inmovilizado
- **Ecuación fundamental de la rentabilidad:**

$$\text{Rentabilidad económica } Re = \frac{\text{Beneficios}}{\text{Activo Total}}$$

### RAZONES QUE JUSTIFICAN LA EXISTENCIA DE INVENTARIOS

- Para hacer frente a la demanda de productos finales.
- Para evitar interrupciones en el proceso productivo.
- Falta de suministros externos.
- Falta de suministros internos.
- Por la propia naturaleza del proceso productivo.
- Para nivelar el flujo de producción.
- Para obtener ventajas económicas.
- Por la falta de acoplamiento entre la producción y el consumo.
- Por ahorro y especulación.

### Las dos cuestiones fundamentales en la planificación de materiales:

1. ¿**Cuándo** deben realizarse los distintos pedidos de material?
2. ¿**Cuánto** debe pedirse de cada material al emitir un pedido?  
¿cuál debe ser el tamaño de los lotes de cada material a solicitar?

La **respuesta** a estas dos preguntas depende de varios factores.

### - FACTORES A CONSIDERAR

#### 1. Características de la demanda

- planificación de inventarios de ciclo único o monoperiódica
- métodos de planificación multiperiódica
- Demanda independiente
- Demanda dependiente

#### 2. Costes relacionados con los inventarios

- Coste de posesión:  $C_p$
- Coste de emisión:  $C_e$
- Coste de ruptura:  $C_r$
- Coste de adquisición:  $C_a$

#### 3. El tiempo de suministro: $T_s$

#### • **COSTE DE POSESIÓN $C_p$**

- Coste asociado al hecho de mantener un inventario.
- **Coste proporcional al nivel de stocks.**
- Contempla:
  - capital inmovilizado (coste de oportunidad) no sólo en stocks, sino en espacio, en edificios, en equipos, etc.
  - impuestos, seguros, personal, depreciación, energía, deterioro de los materiales, pérdida, robo, etc.

- **COSTE DE EMISIÓN  $C_e$**

- Son todos aquellos costes que se producen cada vez que se realiza un pedido, por el hecho de solicitarlo y recibirlo.
- Se considera un **coste independiente del tamaño del lote** solicitado y **proporcional al número de pedidos**
- Comprende: coste de preparar la documentación necesaria, recepción e inspección, manipulación y transporte, etc.
- Cuando se trata de pedidos que se elaboran en la propia empresa se denomina **coste de lanzamiento** e incluye la preparación de máquinas, cambio de utillajes, etc.

- **COSTE DE RUPTURA  $C_r$**

- Se produce cuando se necesita determinado artículo y éste no está disponible.
- **Rupturas en suministros internos:** producidas por paradas de máquinas por falta de material. Producen incrementos de costes por aceleración de pedidos no satisfechos (horas extras, subcontratación, ...).
- **Rupturas de pedidos a clientes:** pueden provocar pérdidas de ventas, pérdida de la imagen de la empresa, etc.
- Se considera un **coste proporcional a la demanda no satisfecha**.

- **COSTE DE ADQUISICIÓN  $C_a$**

- Es el **coste de la compra** (en pedidos externos) o de la fabricación (en pedidos internos) de los lotes solicitados.
- Suele considerarse **independiente del tamaño del lote y del número de pedidos** (aunque no siempre es así: descuentos por cantidad, menor coste por elaboración de lotes mayores).

- **TIEMPO DE SUMINISTRO**

Es el intervalo de tiempo que transcurre entre que se solicita un pedido y el instante de su llegada, es decir, cuando está disponible para ser utilizado (tras la inspección y almacenaje).

- Suministro externo
- Suministro interno

El suministro externo se determina en base a:

- El compromiso del proveedor.
- El comportamiento del proveedor en el pasado
- El tiempo de seguridad

La empresa pierde el control sobre él. Queda en manos del proveedor.

El suministro externo:

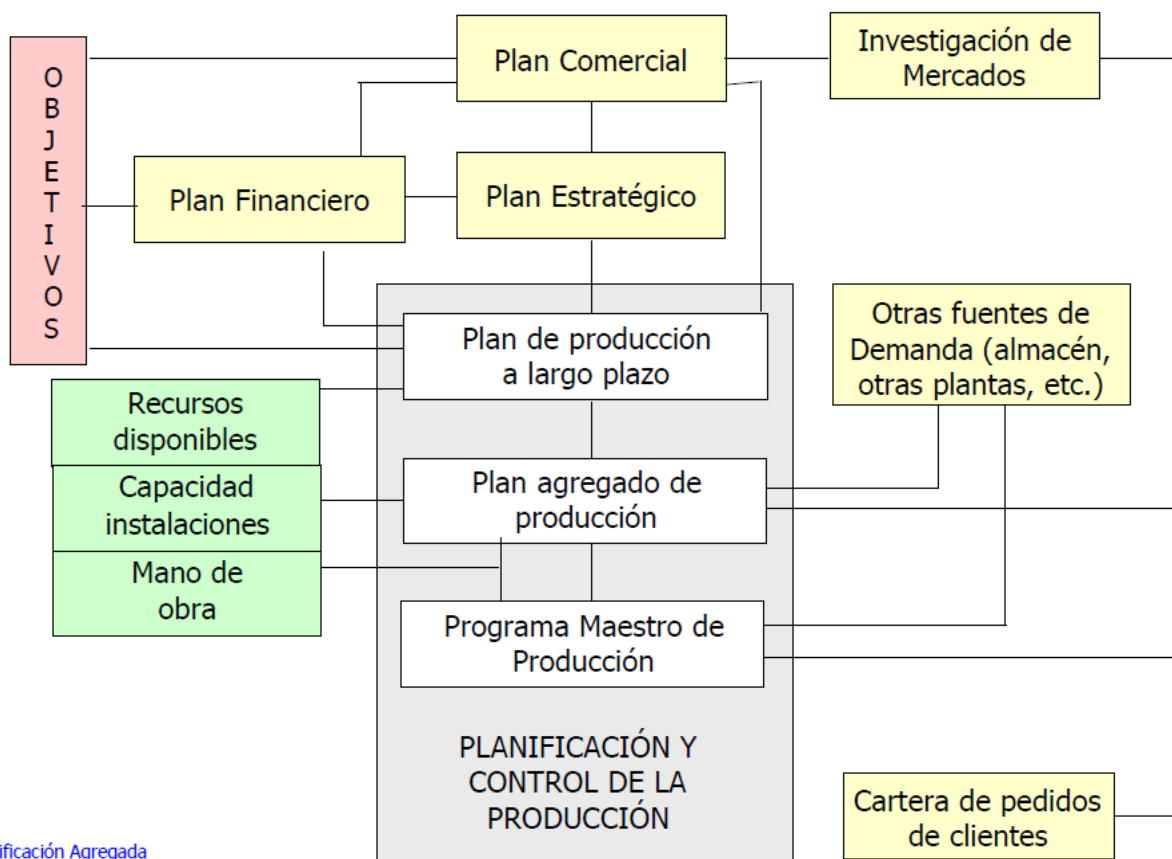
- **Tiempo de confección del pedido:** tiempo necesario para elaborar la documentación del pedido y enviarla al centro de trabajo.
- **Tiempo de desplazamiento y transporte:** traslado de materiales al centro de trabajo, traslado de los productos en curso en el propio centro de trabajo y traslado del pedido finalizado al almacén.
- **Tiempo de cola:** tiempo de espera del material en el centro de trabajo hasta que entre en fabricación
- **Tiempo de preparación del centro de trabajo** para realizar el pedido
- **Tiempo de ejecución** del pedido
- **Tiempo de espera:** tiempo que transcurre entre la finalización de las operaciones hasta que el lote es trasladado al siguiente centro de trabajo o al almacén
- **Tiempo de inspección**

## TEMA 2: PLANIFICACIÓN AGREGADA

Del plan de Empresa al plan Agregado de Producción.

- **Plan Estratégico o plan de Empresa:**
  - o Plan Comercial o plan de Ventas a largo plazo.
  - o Plan Financiero a largo plazo.
  - o Plan de producción a largo plazo.
- **Plan de Producción a largo plazo:**
  - o Partiendo de la aprobación del plan Estratégico se concreta en plan Agregado de Producción.
- **Plan Agregado de Producción:**
  - o Misión a cumplir por el Departamento de Operaciones para apoyar la consecución del plan de Empresa.

### Del Plan de Empresa al Programa Maestro de Producción



Planificación Agregada

## 2.1 PLAN AGREGADO DE PRODUCCIÓN

- **Consideraciones:**

- Unidades de medida: familia de productos.
- Horizonte de planificación: 6-18 meses.
- Cubos de tiempo: se periodifica en meses o trimestres.

- **Definición:**

- Es un plan a medio plazo que mediante la utilización de la capacidad productiva, permita lograr el plan Estratégico de la forma más eficaz posible en relación a los objetivos tácticos del Subsistema de Operaciones.

**Planificación Agregada:** Un ejemplo sencillo

- Una empresa fabrica una única familia de productos, siendo necesaria una hora estándar para elaborar una unidad de la misma.
- Cada operario desarrolla un promedio de 100 horas mensuales y la empresa dispone de una plantilla inicial de 100 trabajadores.
- Se considera que cada mes tiene el mismo número de días productivos.
- No quedan pedidos pendientes de servir y el inventario inicial es de 500 unidades, igual al stock de seguridad que la firma desea mantener durante todo el año para hacer frente a posibles desviaciones respecto de las previsiones.
- No existen problemas de capacidad con el equipo fijo.

**Alternativa 1 – Comportamiento homogéneo**

Las necesidades de producción a satisfacer son de 120.000 unidades por año que se distribuyen de forma homogénea a lo largo del mismo.

Solución:

Necesidades mensuales de producción:  $120.000 \text{ unidades} / 12 \text{ meses} = 10.000 \text{ u/mes}$

Capacidad de producción mensual:

$100 \text{ trabajadores} \times 100 \text{ horas/mes} = 10.000 \text{ horas/mes}$

$10.000 \text{ horas/mes} \times 1 \text{ unidad/hora} = 10.000 \text{ unidades/mes}$

Por lo tanto:

Necesidades mensuales = Capacidad disponible mensual

Las ventas se satisfacen en la fecha deseada

Los inventarios permanecen constantes e igual al stock de seguridad.

No existen costes por retrasos en las entregas.

No existen costes por sobrealmacenamiento.

No existen costes por contrataciones y/o despidos.

**Alternativa 2 – Comportamiento estacional**

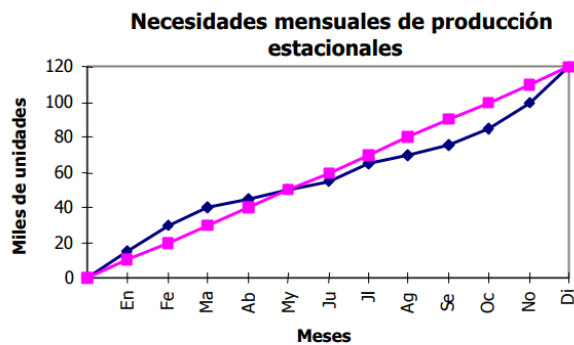
Supongamos la misma producción que la alternativa anterior, 120.000 unidades / año con una producción mensual constante de 10.000 unidades / mes.

Las necesidades mensuales de producción son, en este caso, variables:

| Meses  | En | Fe | Ma | Ab | My | Ju | Jl | Ag | Se | Oc | No | Di |
|--|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| <b>Necesidades de producción (Alternativa 2)</b> | 15 | 15 | 10 | 5  | 5  | 5  | 10 | 5  | 5  | 10 | 15 | 20 |

(Cantidades en miles de unidades)

- Si mensualmente solo tiene capacidad para producir 10.000 unidades, en algunos meses existirá desequilibrio.



|  |  |
|--|--|
| <p><b>De Enero a Mayo:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>⚡ Necesidades &gt; Producción</li> <li>⚡ Retrasos en las entregas</li> <li>⚡ Pérdida del nivel de servicio al cliente</li> </ul> | <p><b>De Mayo a Diciembre:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>⚡ Producción &gt; Necesidades</li> <li>⚡ Coste de posesión de los inventarios</li> </ul> |
|--|--|

## 2.2 OBTENCIÓN DEL PLAN AGREGADO.

### Posibilidades de actuación:

- **Actuar sobre la demanda:**
  - o Para hacerla subir en aquellos periodos en que es inferior a la capacidad de la empresa y disminuirla en caso contrario.
  - o Acciones comerciales (promociones, disminución de precios, generar artículos con ciclos de demanda complementarios a los existentes, servir con retraso...)
  - o Opción **ACTIVA o AGRESIVA.**
  
- **Actuar sobre la capacidad:**
  - o Aumentándola o disminuyéndola para adaptarse a la demanda mediante: horas extras, subcontrataciones...
  - o Cuando sea posible almacenar el producto, producir más cantidad en periodos de exceso de capacidad.
  - o Acciones **PASIVAS o REACTIVAS.**

### Factores a considerar:

- Limitaciones del entorno.
- Políticas de la empresa.
- Costes.
- Satisfacción del cliente.
- El coste básico de producción es el mismo para todos los planes.
- Para comparar los distintos planes solo utilizaremos el coste incremental de cada alternativa.

### Técnicas:

- Intuitivos o de prueba y error.
- Analíticos.
  - o Programación matemática -> soluciones óptimas.
  - o Métodos heurísticos -> soluciones satisfactorias.
- De simulación: Múltiples soluciones que se van mejorando mediante determinadas reglas de búsqueda.

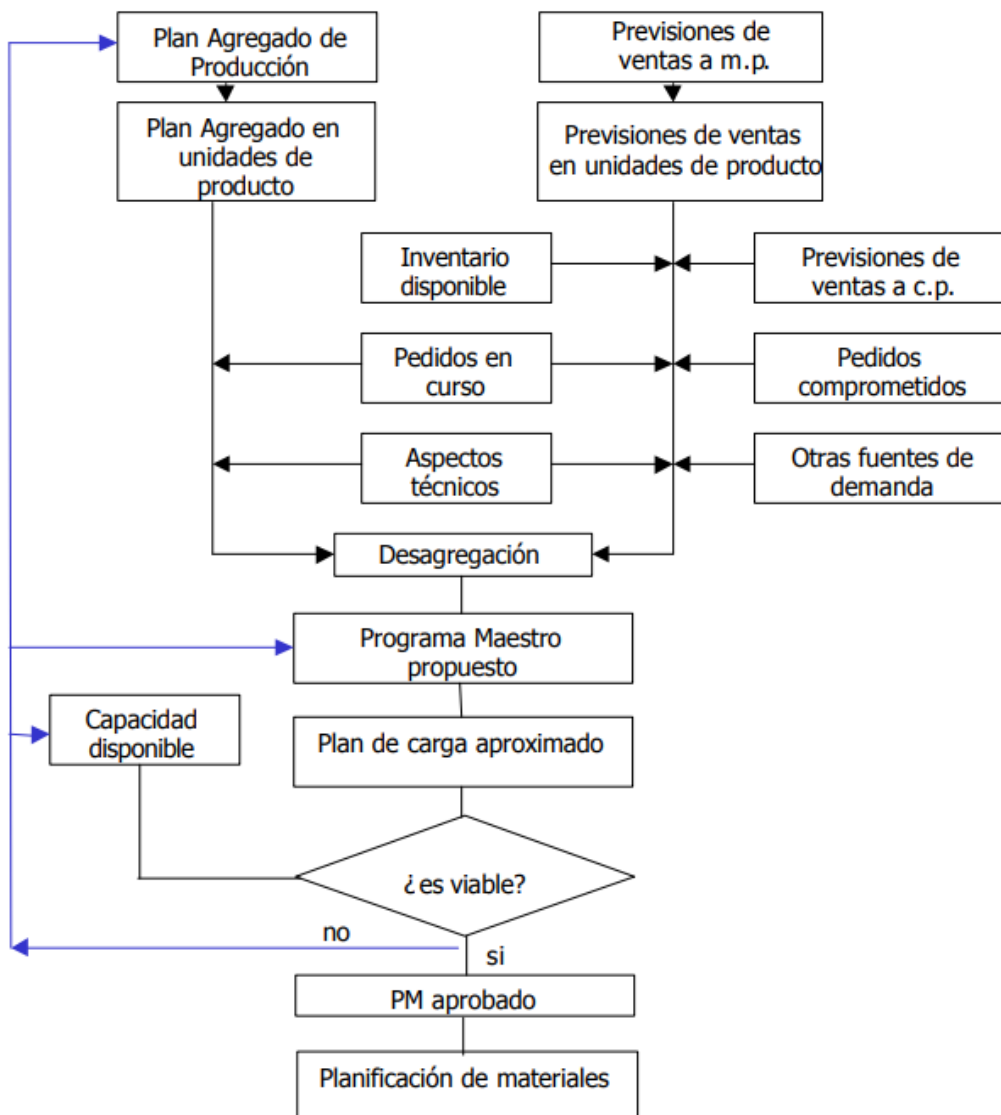
### Plan Agregado de una empresa de servicios:

- El cliente entra en el proceso de producción, es servido y sale del proceso.
- En general, los servicios son intangibles y no se pueden almacenar.
- La mayoría de servicios no pueden posponer la demanda.
- En general, un servicio no puede ser transportado.
- La subcontratación es problemática.
- Suele ser más importante el empleo de mano de obra que la utilización de maquinaria y equipo fijo.
- La demanda es más difícil de prever.

### Programación Maestra de la Producción (PMP):

- Definición -> Plan detallado que establece cuántas unidades de productos finales producidas y en qué periodos de tiempo.
  
- Funciones básicas.
  - o Concretar el Plan Agregado, tanto en las cantidades como en el tiempo.
  - o Facilitar la obtención del Plan Aproximado de Capacidad para comprobar la viabilidad del Programa Maestro y la del Plan Agregado.

- Horizonte de planificación de un PMP:
  - o De una semana a un año. Lo más recomendable es que sea de un año (Entornos MRP) y de tres a seis meses para el resto.
  - o Las características del proceso productivo y del entorno también condicionan el horizonte de planificación.
  - o Como mínimo debe ser igual al mayor Ts acumulado de los productos finales.
  
- Cubos de tiempo:
  - o El más empleado es de una semana, ya que en periodos más cortos ocasionan excesos de cálculos y periodos más largos implican desviaciones excesivas.



## 2.3 EJEMPLO DE PLANIFICACIÓN AGREGADA.

### Enunciado:

Una empresa fabrica una única familia de productos.

La obtención de cada unidad de dicha familia requiere 1,5 horas estándar de mano de obra y cada operario desarrolla, por término medio, 8 horas diarias.

En el momento actual, diciembre, la plantilla de la empresa está formada por 150 trabajadores (50 fijos y 100 eventuales)

Aunque el stock de seguridad deseado es de 500 unidades, el stock disponible de producto es nulo.

|                                | Ene    | Feb    | Mar    | Abr    | May    | Jun    | Jul    | Ago    | Sep    | Oct    | Nov     | Dic     | Totales |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| Previsión                      | 9.000  | 15.000 | 10.000 | 5.000  | 5.000  | 5.000  | 10.000 | 5.000  | 5.000  | 10.000 | 15.000  | 20.000  | 114.000 |
| Pedidos comprometidos          | 10.000 | 1.800  |        |        |        |        |        |        |        |        |         |         |         |
| Pedidos pendientes             | 4.500  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |         |         |         |
| Stock de seguridad             | 500    |        |        |        |        |        |        |        |        |        |         |         |         |
| Plan necesidades de producción | 15.000 | 15.000 | 10.000 | 5.000  | 5.000  | 5.000  | 10.000 | 5.000  | 5.000  | 10.000 | 15.000  | 20.000  | 120.000 |
| Plan acumulado                 | 15.000 | 30.000 | 40.000 | 45.000 | 50.000 | 55.000 | 65.000 | 70.000 | 75.000 | 85.000 | 100.000 | 120.000 |         |
| Días productivos               | 20     | 20     | 22     | 20     | 22     | 21     | 20     | 22     | 22     | 20     | 21      | 20      | 250     |

Los costes calculados por la empresa son los siguientes:

- Materiales por unidad de familia: 5.000 um
- Hora estándar de mano de obra en jornada regular: 1.000 um
- Hora estándar extra de mano de obra: 1.500 um
- Hora ociosa de mano de obra: 1.100 um
- Contratación de un trabajador eventual: 100.000 um
- Despido de un trabajador eventual: 150.000 um
- Subcontratación de una unidad de la familia: 1.000 um sobre el coste de producción regular de la empresa.
- Coste de posesión: 200 um / unidad y mes
- Servicio con retraso: 1.500 um / unidad y mes

Otros factores a considerar para el desarrollo de la planificación agregada derivados de las políticas de la empresa son:

- Existen tres turnos, siendo posible el trabajo simultáneo de 50 operarios. Ello implica un máximo de 1.200 horas/día (150 operarios x 8 horas/día y operario)
- El máximo de hora extras permitidas por convenio es del 10% de las disponibles en jornada regular.
- No se contempla la posibilidad de despidos de operarios fijos.
- Todos los costes se consideran funciones lineales.
- La demanda diaria, dentro de cada mes, se considera uniforme y continua.



Además de las “normas” que apliquen el entorno y la empresa, existen 2 principales estrategias para configurar el plan, siempre que se cumpla con la política que marque la empresa.

1. **Estrategia de caza:**

- a. Busca ajustarse a la demanda, lograr cada periodo las necesidades de producción que tenga la empresa, siempre y cuando no superemos la capacidad máxima. Mantener bajo el nivel de inventarios y conseguir flexibilidad frente a los cambios en la demanda.

2. **Estrategia de nivelación:**

- a. Busca mantener constante la mano de obra para nivelar la producción mensual, para hacer frente a las variaciones de la demanda, busca recurrir a horas extras, subcontrataciones, inventarios o retrasos en las entregas.

NOVA



## TEMA 3: LOS SISTEMAS MRP (Materials Requirements Planning)

**Demanda independiente** -> La tienen todos los artículos finales, no depende de la demanda de otro artículo.

**Demanda dependiente** -> Es la que tienen los componentes, su demanda depende de los artículos finales para los que son necesarios.

**Subconjunto** = Componentes.

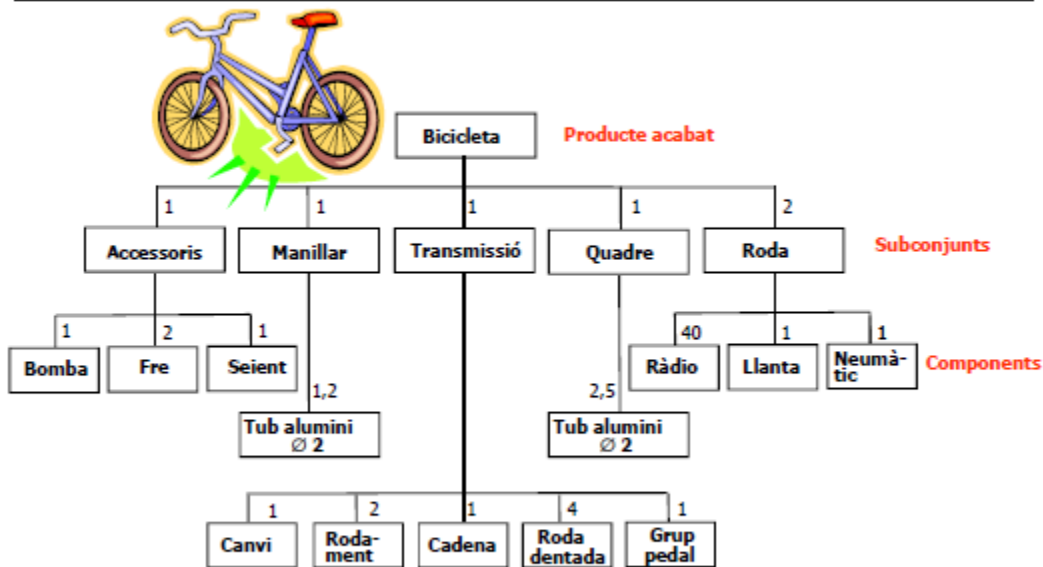
**Árbol de producto.**

**MRP:** En qué momento, cuando y para qué producto se fabrica.

- Objetivo de la gestión de stocks con demanda irregular, discreta y dependiente (conocida con certeza)
  - o No es el de vigilar los niveles de stock como se hace en gestión clásica, sino asegurar la disponibilidad en la cantidad deseada, en el momento y lugar adecuados.
- Planificación de las necesidades de materiales
  - o Es una técnica informatizada de gestión de stocks de fabricación y de programación de la producción, capaz de generar el Plan de Materiales a partir de un Programa Maestro de Producción. (PMP).

Ejemplo:

### Demanda independent i dependent



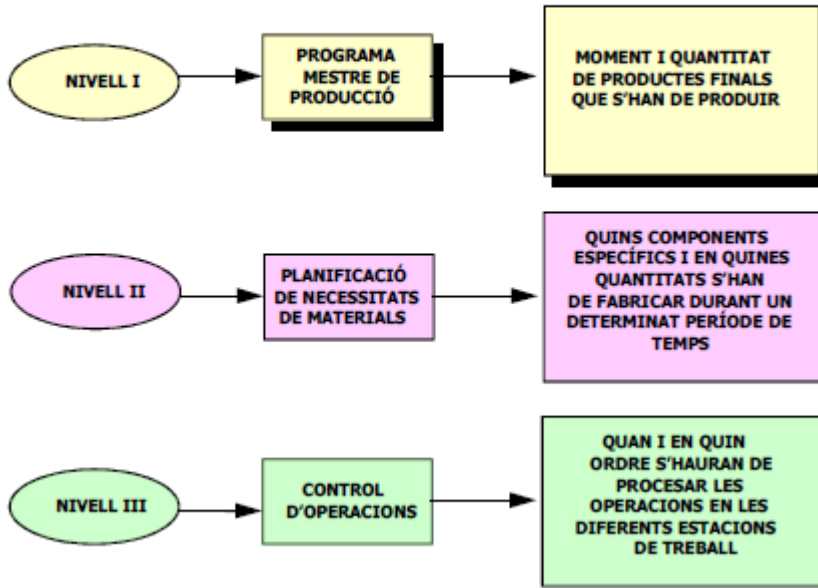
FONT: Nuevas técnicas de gestión de stocks: MRP y JIT  
Ramón Compañys Pascual y Joan B. Pinedosa i Guardiet.  
De: MARCOMBO (Colección PRODUCTIVA, nº 22). Barcelona- 1989

### 3.1 FUNCIONAMIENTO DEL MRP:

- Proceso de decisión jerárquico
- Informaciones básicas / proceso / Salidas
- Características:
  - o Productos -> Componentes
  - o Método prospectivo: Que parte de la demanda futura, su inconveniente es que no tiene en cuenta las restricciones de capacidad.
  - o Decalaje en el tiempo.
  - o Es una base de datos integrada: debe tener en cuenta todos los departamentos de la empresa.

**Proceso de decisión jerárquico:**

## Procés de decisió jeràrquic



### Informaciones básicas:

- Cantidades del producto final a elaborar con indicación de las fechas previstas de entrega.
  - o Programa Maestro de Producción (PMP)
- Estructura de fabricación y montaje del artículo
  - o Lista de materiales.
- Otros datos sobre los subconjuntos y componentes (tiempo de suministro, existencias disponibles en el almacén, recepciones programadas, etc.)
  - o Fichero de registro de inventarios.

### Entradas fundamentales del Sistema MRP:

#### 1. Programa Maestro de Producción (MPS: Master Production Schedule)

- a. El MPS proviene de la degradación de las unidades de familia del Plan Agregado de Producción a productos concretos.
- b. Horizonte de planificación: 40 – 52 semanas
- c. Cubos de tiempo: semanas
- d. La primera parte del MPS debe ser firme o congelada, el resto está abierto a posibles variaciones.
- e. Cada semana que pasa provoca la puesta al día del MPS, eliminándose la primera semana y añadiéndose una nueva al final (roll-plan)
- f. El MPS debe ser realista.

#### 2. Lista de Materiales, BOM (bill of materiales) y el árbol de producto:

- a. Es una descripción de la estructura de obtención de un determinado producto.
- b. Muestra claramente:
  - i. Los componentes que lo integran
  - ii. Las cantidades de cada uno de ellos para tomar una unidad de producto.
  - iii. La secuencia en la que los distintos componentes se combinan para obtener el producto final.
- c. La forma de expresar la lista de materiales más frecuente es el **árbol de producto**,
  - i. Clasificar los artículos o componentes en niveles.
    - Nivel 0 -> Artículos finales
    - Nivel 1 -> Componentes directos.
    - Nivel 2 -> Componentes para nivel 1...

Un componente solo puede estar en un nivel, si necesito un componente de B para fabricar otros dos componentes, la B tiene que estar en el mismo nivel. Un mismo componente no puede estar en varios niveles.

Por ejemplo, si B es necesario tanto para el artículo final, como para fabricar algún componente directo, B será de nivel 2.

#### 3. Fichero de Registros de Inventarios (Inventory Records File)

- a. Es la fuente fundamental de información sobre inventarios.
- b. Contiene, para cada uno de los componentes en Stock, los siguientes segmentos:

- i. Segmento maestro de datos: identificación de los distintos componentes en forma numérica, tiempo de suministro, stock de seguridad, tamaño del lote de pedido, nivel más bajo de stock posible, porcentaje defectuosos, etc.
- ii. Segmento de datos subsidiarios: información sobre órdenes especiales, cambios u otros aspectos.
- iii. Segmento de estado de inventario.

Lo tendremos que calcular. Los otros datos del fichero de registros de inventarios nos lo dará el enunciado.

- **Necesidades Brutas:** Cantidad a entregar de los componentes para satisfacer el pedido, así como sus fechas de entrega.
- **Disponibilidades** en almacén de los diferentes artículos.
- **Cantidades comprometidas** en pedidos que ya se han lanzado o emitido.
- **Recepciones programadas** en fecha y cantidad de pedidos ya realizados.
- **Necesidades netas:** diferencia entre las necesidades brutas y las disponibilidades más los pedidos pendientes.
- **Recepción de pedidos planificados** pedidos ya calculados, así como sus fechas de recepción.
- **Lanzamiento de pedidos planificados:** cantidad anterior decalada hacia atrás UN tiempo de suministro.

### 3.2 EJEMPLO SISTEMA MRP:

#### Un exemple de MRP

##### Programa mestre de producció

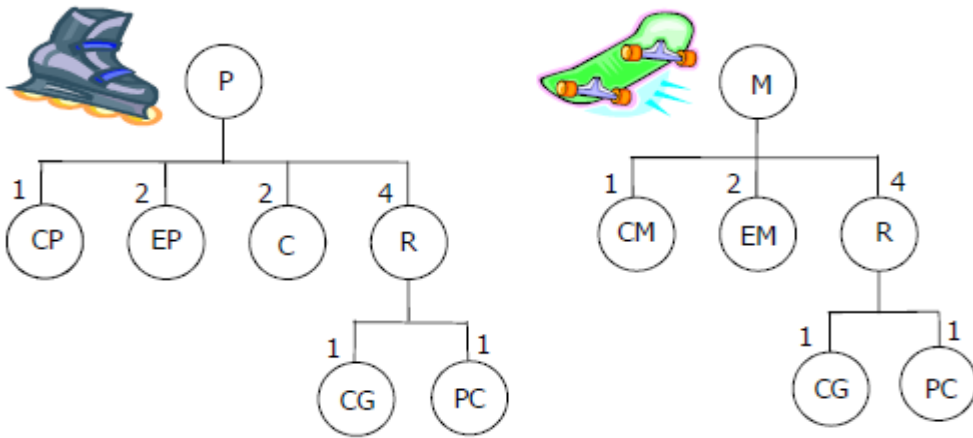
|            | 1 | 2   | 3 | 4   | 5   | 6 | 7   | 8   |
|------------|---|-----|---|-----|-----|---|-----|-----|
| Patins     |   | 200 |   |     | 300 |   | 100 | 400 |
| Monopatins |   |     |   | 200 | 100 |   | 200 |     |

##### Demanda externa de components

|           | 1 | 2 | 3 | 4   | 5 | 6   | 7 | 8   |
|-----------|---|---|---|-----|---|-----|---|-----|
| Rodes (R) |   |   |   | 200 |   | 200 |   | 200 |

Aquest cas ha estat adaptat de Domínguez Machuca i altres; "Dirección de Operaciones. Aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios". Mc. Graw-Hill. Madrid, (1996:131-136)

**Un exemple de MRP (2)**



**Fitxer de registre d'inventaris**

Segment mestre de dades

| Item | Ss | Ts |
|------|----|----|
| P    | 20 | 2  |
| M    | 20 | 2  |
| CP   |    | 1  |
| EP   |    | 1  |
| C    |    | 1  |
| R    | 40 | 1  |
| CM   |    | 1  |
| EM   |    | 1  |
| CG   |    | 1  |
| PC   |    | 1  |

Fitxer de registre d'inventaris

| Item | Disp | Recep. prog |
|------|------|-------------|
| P    | 100  | 150 a t=2   |
| M    | 80   |             |
| CP   | 10   |             |
| EP   |      |             |
| C    |      |             |
| R    | 90   |             |
| CM   |      |             |
| EM   |      |             |
| CG   | 5    | 600 a t=1   |
| PC   |      | 600 a t=1   |

**Coste emisi3n: 1.500 u.m. / lote**  
**Coste posesi3n: 1 u.m. / unidad y periodo**

| Q | ts | Disp | Ss | Comp | Niv. | Ref. | Conceptos                 | Períodos |   |   |   |   |   |   |   |  |
|---|----|------|----|------|------|------|---------------------------|----------|---|---|---|---|---|---|---|--|
|   |    |      |    |      |      |      |                           | 1        | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |  |
|   |    |      |    |      |      |      | Necesidades brutas        |          |   |   |   |   |   |   |   |  |
|   |    |      |    |      |      |      | Recepciones programadas   |          |   |   |   |   |   |   |   |  |
|   |    |      |    |      |      |      | Disponible                |          |   |   |   |   |   |   |   |  |
|   |    |      |    |      |      |      | Necesidades netas         |          |   |   |   |   |   |   |   |  |
|   |    |      |    |      |      |      | Recepción órdenes prod.   |          |   |   |   |   |   |   |   |  |
|   |    |      |    |      |      |      | Lanzamiento órdenes prod. |          |   |   |   |   |   |   |   |  |

| Q | ts | Disp | Ss | Comp | Niv. | Ref. | Conceptos                 | Períodos |   |   |   |   |   |   |   |  |
|---|----|------|----|------|------|------|---------------------------|----------|---|---|---|---|---|---|---|--|
|   |    |      |    |      |      |      |                           | 1        | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |  |
|   |    |      |    |      |      |      | Necesidades brutas        |          |   |   |   |   |   |   |   |  |
|   |    |      |    |      |      |      | Recepciones programadas   |          |   |   |   |   |   |   |   |  |
|   |    |      |    |      |      |      | Disponible                |          |   |   |   |   |   |   |   |  |
|   |    |      |    |      |      |      | Necesidades netas         |          |   |   |   |   |   |   |   |  |
|   |    |      |    |      |      |      | Recepción órdenes prod.   |          |   |   |   |   |   |   |   |  |
|   |    |      |    |      |      |      | Lanzamiento órdenes prod. |          |   |   |   |   |   |   |   |  |

| Q | ts | Disp | Ss | Comp | Niv. | Ref. | Conceptos                 | Períodos |   |   |   |   |   |   |   |  |
|---|----|------|----|------|------|------|---------------------------|----------|---|---|---|---|---|---|---|--|
|   |    |      |    |      |      |      |                           | 1        | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |  |
|   |    |      |    |      |      |      | Necesidades brutas        |          |   |   |   |   |   |   |   |  |
|   |    |      |    |      |      |      | Recepciones programadas   |          |   |   |   |   |   |   |   |  |
|   |    |      |    |      |      |      | Disponible                |          |   |   |   |   |   |   |   |  |
|   |    |      |    |      |      |      | Necesidades netas         |          |   |   |   |   |   |   |   |  |
|   |    |      |    |      |      |      | Recepción órdenes prod.   |          |   |   |   |   |   |   |   |  |
|   |    |      |    |      |      |      | Lanzamiento órdenes prod. |          |   |   |   |   |   |   |   |  |

| Q | ts | Disp | Ss | Comp | Niv. | Ref. | Conceptos                 | Períodos |   |   |   |   |   |   |   |  |
|---|----|------|----|------|------|------|---------------------------|----------|---|---|---|---|---|---|---|--|
|   |    |      |    |      |      |      |                           | 1        | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |  |
|   |    |      |    |      |      |      | Necesidades brutas        |          |   |   |   |   |   |   |   |  |
|   |    |      |    |      |      |      | Recepciones programadas   |          |   |   |   |   |   |   |   |  |
|   |    |      |    |      |      |      | Disponible                |          |   |   |   |   |   |   |   |  |
|   |    |      |    |      |      |      | Necesidades netas         |          |   |   |   |   |   |   |   |  |
|   |    |      |    |      |      |      | Recepción órdenes prod.   |          |   |   |   |   |   |   |   |  |
|   |    |      |    |      |      |      | Lanzamiento órdenes prod. |          |   |   |   |   |   |   |   |  |

| Q | ts | Disp | Ss | Comp | Niv. | Ref. | Conceptos                 | Períodos |   |   |   |   |   |   |   |  |
|---|----|------|----|------|------|------|---------------------------|----------|---|---|---|---|---|---|---|--|
|   |    |      |    |      |      |      |                           | 1        | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |  |
|   |    |      |    |      |      |      | Necesidades brutas        |          |   |   |   |   |   |   |   |  |
|   |    |      |    |      |      |      | Recepciones programadas   |          |   |   |   |   |   |   |   |  |
|   |    |      |    |      |      |      | Disponible                |          |   |   |   |   |   |   |   |  |
|   |    |      |    |      |      |      | Necesidades netas         |          |   |   |   |   |   |   |   |  |
|   |    |      |    |      |      |      | Recepción órdenes prod.   |          |   |   |   |   |   |   |   |  |
|   |    |      |    |      |      |      | Lanzamiento órdenes prod. |          |   |   |   |   |   |   |   |  |

| Q | ts | Disp | Ss | Comp | Niv. | Ref. | Conceptos                 | Períodos |   |   |   |   |   |   |   |
|---|----|------|----|------|------|------|---------------------------|----------|---|---|---|---|---|---|---|
|   |    |      |    |      |      |      |                           | 1        | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|   |    |      |    |      |      |      | Necesidades brutas        |          |   |   |   |   |   |   |   |
|   |    |      |    |      |      |      | Recepciones programadas   |          |   |   |   |   |   |   |   |
|   |    |      |    |      |      |      | Disponible                |          |   |   |   |   |   |   |   |
|   |    |      |    |      |      |      | Necesidades netas         |          |   |   |   |   |   |   |   |
|   |    |      |    |      |      |      | Recepción órdenes prod.   |          |   |   |   |   |   |   |   |
|   |    |      |    |      |      |      | Lanzamiento órdenes prod. |          |   |   |   |   |   |   |   |

| Q | ts | Disp | Ss | Comp | Niv. | Ref. | Conceptos                 | Períodos |   |   |   |   |   |   |   |
|---|----|------|----|------|------|------|---------------------------|----------|---|---|---|---|---|---|---|
|   |    |      |    |      |      |      |                           | 1        | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|   |    |      |    |      |      |      | Necesidades brutas        |          |   |   |   |   |   |   |   |
|   |    |      |    |      |      |      | Recepciones programadas   |          |   |   |   |   |   |   |   |
|   |    |      |    |      |      |      | Disponible                |          |   |   |   |   |   |   |   |
|   |    |      |    |      |      |      | Necesidades netas         |          |   |   |   |   |   |   |   |
|   |    |      |    |      |      |      | Recepción órdenes prod.   |          |   |   |   |   |   |   |   |
|   |    |      |    |      |      |      | Lanzamiento órdenes prod. |          |   |   |   |   |   |   |   |

| Q | ts | Disp | Ss | Comp | Niv. | Ref. | Conceptos                 | Períodos |   |   |   |   |   |   |   |
|---|----|------|----|------|------|------|---------------------------|----------|---|---|---|---|---|---|---|
|   |    |      |    |      |      |      |                           | 1        | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|   |    |      |    |      |      |      | Necesidades brutas        |          |   |   |   |   |   |   |   |
|   |    |      |    |      |      |      | Recepciones programadas   |          |   |   |   |   |   |   |   |
|   |    |      |    |      |      |      | Disponible                |          |   |   |   |   |   |   |   |
|   |    |      |    |      |      |      | Necesidades netas         |          |   |   |   |   |   |   |   |
|   |    |      |    |      |      |      | Recepción órdenes prod.   |          |   |   |   |   |   |   |   |
|   |    |      |    |      |      |      | Lanzamiento órdenes prod. |          |   |   |   |   |   |   |   |

| Q | ts | Disp | Ss | Comp | Niv. | Ref. | Conceptos                 | Períodos |   |   |   |   |   |   |   |
|---|----|------|----|------|------|------|---------------------------|----------|---|---|---|---|---|---|---|
|   |    |      |    |      |      |      |                           | 1        | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|   |    |      |    |      |      |      | Necesidades brutas        |          |   |   |   |   |   |   |   |
|   |    |      |    |      |      |      | Recepciones programadas   |          |   |   |   |   |   |   |   |
|   |    |      |    |      |      |      | Disponible                |          |   |   |   |   |   |   |   |
|   |    |      |    |      |      |      | Necesidades netas         |          |   |   |   |   |   |   |   |
|   |    |      |    |      |      |      | Recepción órdenes prod.   |          |   |   |   |   |   |   |   |
|   |    |      |    |      |      |      | Lanzamiento órdenes prod. |          |   |   |   |   |   |   |   |

| Q | ts | Disp | Ss | Comp | Niv. | Ref. | Conceptos                 | Períodos |   |   |   |   |   |   |   |
|---|----|------|----|------|------|------|---------------------------|----------|---|---|---|---|---|---|---|
|   |    |      |    |      |      |      |                           | 1        | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|   |    |      |    |      |      |      | Necesidades brutas        |          |   |   |   |   |   |   |   |
|   |    |      |    |      |      |      | Recepciones programadas   |          |   |   |   |   |   |   |   |
|   |    |      |    |      |      |      | Disponible                |          |   |   |   |   |   |   |   |
|   |    |      |    |      |      |      | Necesidades netas         |          |   |   |   |   |   |   |   |
|   |    |      |    |      |      |      | Recepción órdenes prod.   |          |   |   |   |   |   |   |   |
|   |    |      |    |      |      |      | Lanzamiento órdenes prod. |          |   |   |   |   |   |   |   |

| Període<br>Ítem | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6   | 7   | 8 |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|---|
| <b>P</b>        |       |       | 270   |       | 100   | 400 |     |   |
| <b>M</b>        |       | 140   | 100   |       | 200   |     |     |   |
| <b>CP</b>       |       | 260   |       | 100   | 400   |     |     |   |
| <b>EP</b>       |       | 540   |       | 200   | 800   |     |     |   |
| <b>CP</b>       |       | 540   |       | 200   | 800   |     |     |   |
| <b>R</b>        | 510   | 1.480 | 200   | 1.200 | 1.800 |     | 200 |   |
| <b>CM</b>       | 140   | 100   |       | 200   |       |     |     |   |
| <b>EM</b>       | 280   | 200   |       | 400   |       |     |     |   |
| <b>CG</b>       | 1.385 | 200   | 1.200 | 1.800 |       | 200 |     |   |
| <b>PC</b>       | 1.390 | 200   | 1.200 | 1.800 |       | 200 |     |   |

### 3.3. TÉCNICAS DE DIMENSIONADO DE LOTE:

#### 1. Técnica lote a lote:

Consiste en hacer coincidir los pedidos a las necesidades netas de cada periodo, minimizando los costes de posesión. En este caso; serán variables las demandas y el intervalo de tiempo entre ellos.

#### 2. Periodo constante:

El intervalo entre pedidos se fija de forma intuitiva o empírica (por ejemplo, cada 2 semanas). Por tanto, los lotes se igualarán a las necesidades de dicho intervalo, en este caso, 2 semanas y se pedirán en el primero de los periodos posibles.

#### 3. POQ (Period Order Quantity):

El método es igual que el periodo constante, pero para calcular el intervalo se utiliza el lote económico por el método clásico mediante la siguiente fórmula.

$$Q = \sqrt{\frac{2 \cdot C_e \cdot D}{C_p \cdot HP}}$$

Lote económico:

$$n = \frac{D}{Q}$$

Número de pedidos:

$$T = \frac{HP}{n}$$

Intervalos:

**C<sub>e</sub>** = Coste emisión

**C<sub>p</sub>** = Coste posesión.

**HP** = Horizonte de planificación.

**D** = Demanda (suma de las necesidades netas durante HP)

**Q** = Lote económico

**N** = Número de pedidos.

#### 4. Técnica del Mínimo Coste Unitario:





El objetivo es buscar el lote que minimiza el coste total por unidad de producto.

Coste unitario =  $CT / \text{Unidades de producto del periodo}$

**CT** = Suma de **CE** y **CP** del periodo.

**5. Técnica del Mínimo Coste Total:**

Se trata de minimizar la suma del total de emisión y posesión, para ello, buscamos el coste de posesión que sea más cercano al coste de emisión.

Ejemplo:

**6. Técnica Silver-Meal:**

Se selecciona el lote que da lugar al mínimo coste total (emisión más posesión) por periodo, de manera que sumamos el CP y CE y lo dividimos por el número de periodos del intervalo, cuando el coste por periodo de incorporar un nuevo intervalo supere el anterior cerramos el lote en el intervalo anterior y seguimos calculando el siguiente.

Ejemplo:

### 3.4 UTILIZACIÓN DE LOS STOCKS DE SEGURIDAD:

- > Es conveniente mantener un cierto stock de seguridad para los productos finales y para aquellos componentes con demanda independiente (piezas de recambio)
- > Para los artículos con demanda dependiente, el stock de seguridad puede reducirse, aunque no es conveniente eliminarlo del todo.
- > Para intentar reducir el peligro de una ruptura de stock, se puede:
  - Mantener una cantidad fija de stock de seguridad.
  - Incrementar el tiempo de suministro con un tiempo de seguridad.
  - Aumentar las necesidades previstas.
  - Mantener un cierto volumen de capacidad de seguridad.

### 3.5 REDUCCIÓN DE LOS STOCKS DE SEGURIDAD:

- > Si los problemas de aletoriedad surgen por variaciones en el tiempo de suministro, sería conveniente permitir cambiar las fechas de comienzo de los diferentes artículos. Con esto no sería necesario mantener un stock de seguridad.
- > Las técnicas de dimensionado de lote que agrupan necesidades pueden disminuir la medida del stock de seguridad, ya que en caso de urgencia inesperada, se podrán utilizar los lotes correspondientes a las necesidades más lejanas.
- > Los ajustes por exceso en las medidas del lote generan un excedente que puede ser utilizado en periodos posteriores al de la recepción del pedido.
- > Si deseamos reducir al mínimo el stock de seguridad es necesario identificar las causas que provocan su necesidad e intentar eliminarlas o reducirlas.

### 3.6 LA REPROGRAMACIÓN (ACTUALIZACIÓN) DEL MRP:

- > Cualquier factor que altere alguna de las entradas al sistema MRP afectará al cálculo de las necesidades y a la programación de los pedidos, es decir:
  - El Programa Maestro de la Producción,
  - La Lista de Materiales.
  - El Fichero de Registro de Inventarios.
- > Es necesario que estas entradas estén constantemente actualizadas, de manera que los resultados finales sean fiables.
- > En caso de existir modificaciones en estas entradas al sistema, será necesario realizar una reprogramación del sistema.
- > Principales sistemas de reprogramación:
  - 1) Sistema MRP regenerativo:**
    - a) Enfoque tradicional, el más antiguo.
    - b) Se repite cada vez el cálculo completo, realizándose de nuevo la explosión de necesidades nivel a nivel para todos los productos finales.
    - c) Los resultados son muy voluminosos.
    - d) El tiempo necesario para el cálculo es largo, debido al elevado número de operaciones a realizar.
    - e) Es un sistema adecuado de entornos estables.
  - 2) Sistema MRP de cambio neto:**
    - a) Es un método más moderno.
    - b) Se realizan explosiones parciales (a diferencia del caso anterior) únicamente para aquellos artículos que hayan sufrido algún cambio.

- c) El procesamiento de datos es menor.
- d) Puesta a punto más ágil y rápida.
- e) Es un sistema adecuado para cambios frecuentes.

### 3.7. SALIDAS DEL MRP:

-> Salidas primarias del sistema MRP:

- Plan de Materiales: Contiene los pedidos planificados de todos los artículos. (órdenes de producción o compra)
- Los informes de acción: Indican, para cada uno de los artículos, la necesidad de emitir un nuevo pedido o ajustar la fecha de llegada a la cantidad de algún pedido pendiente.

Aunque es el ordenador el que genera los informes, es el planificador el que tiene que tomar las decisiones en vista de los resultados.

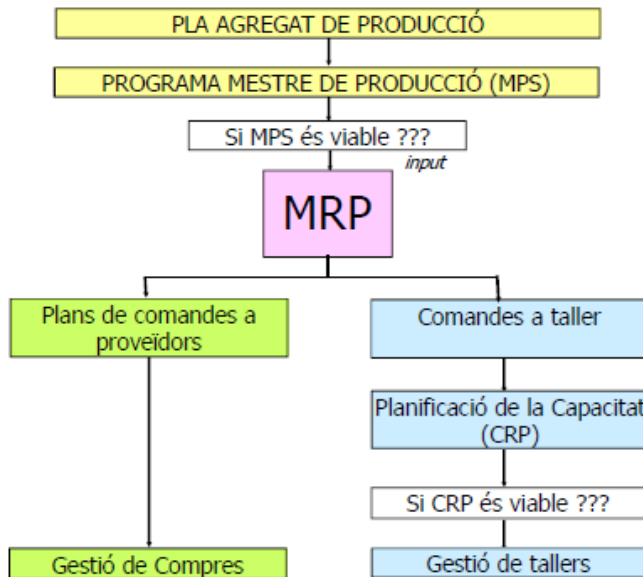
-> Salidas secundarias del sistema MRP:

- Dependen del software utilizado.
- Algunas de estas salidas secundarias son:
  - o Mensajes individuales excepcionales: solo aparecen en el monitor del ordenador. Son mensajes de error del propio sistema que ayuden a mantener la exactitud de los datos.
  - o Informes de las fuentes de necesidades: relaciona las necesidades brutas de cada artículo con las fuentes que las producen.
  - o Informe de análisis ABC en función de la planificación: refleja el estado y el valor de las existencias previstas en stock en función de un análisis ABC.
  - o Informe de materiales en exceso.
  - o Informe de compromisos de compra: refleja el valor de los pedidos planificados a proveedores, representando los diferentes pagos a realizar durante los diferentes periodos de tiempo.
  - o Informe de análisis de proveedores: genera un resumen del comportamiento de los proveedores en cuanto al tiempo de suministro, precio y calidad.
- Estas salidas secundarias varían mucho de una empresa a otra y del tipo de software utilizado.

## TEMA 4: LOS SISTEMAS MRP II (Materials Resource Planning)

### 4.1. MRP DE BUCLE CERRADO

#### MRP de bucle tancat



### 4.2 MRP II:

-> Ampliación del MRP de Bucle Cerrado que, de manera integrada y mediante un proceso informatizado on-line, con una clase de datos única para toda la empresa, participa en:

- La planificación estratégica.
- Programa la producción.
- Planifica los pedidos de los diferentes artículos.
- Programa las prioridades y las actividades a desarrollar por los diferentes talleres.
- Planifica y controla la capacidad disponible y necesaria.
- Gestiona los inventarios.

-> Además, a partir de los outputs obtenidos:

- Realiza cálculos de costes.
- Desarrolla estados financieros en unidades monetarias.

### 4.3 MRP EN EL ÁREA DE FINANZAS Y CONTABILIDAD:

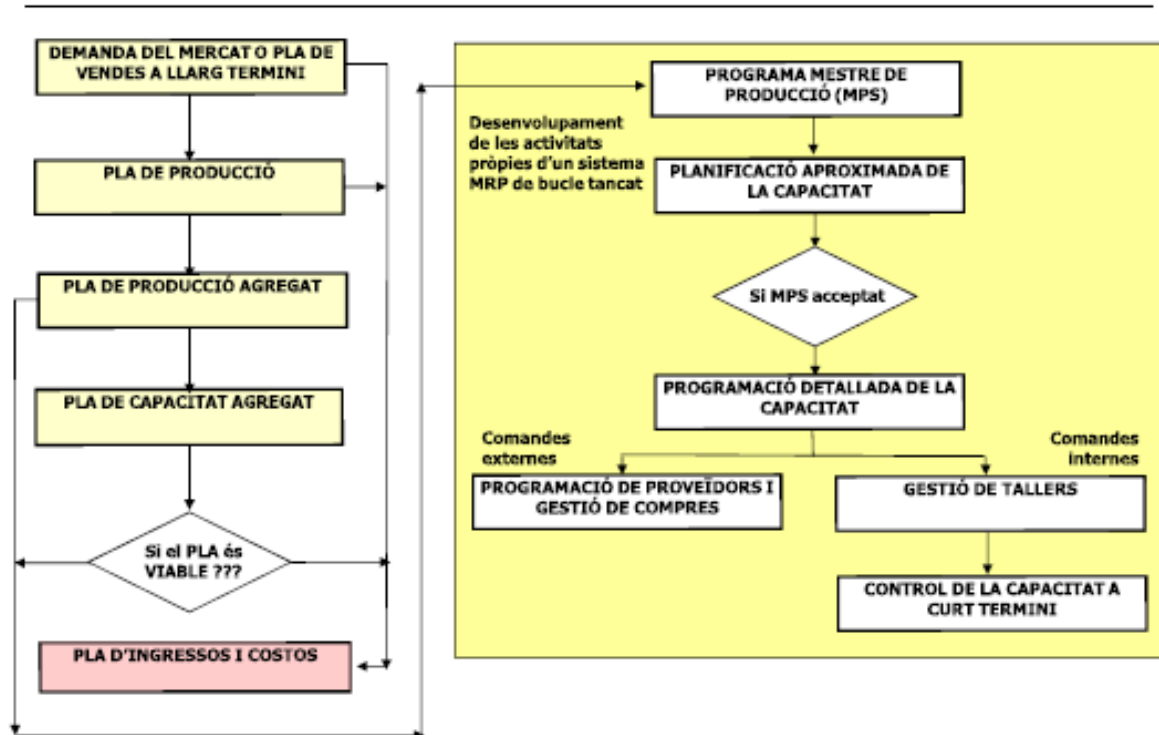
-> Tiene que contemplar.

- **Sistema de cálculo y recálculo de costes estándar** que permita distribuir los costes de la empresa entre los diferentes artículos, operaciones y centros de trabajo.

-> Otras funciones.

- Desarrollo de un **Presupuesto de Ventas** (normalmente para el corto plazo, multiplicando los pedidos de clientes para los precios de venta).
- Un **Presupuesto de Compras** (multiplicando las cantidades a comprar de artículos en el Plan de Pedidos para los precios medios de compra).
- Un **Presupuesto de Inventarios Projectados**.

-> Mecánica del Sistema:



## TEMA 5: PLANIFICACIÓN Y CONTROL A MUY CORTO PLAZO

Actividades encaminadas a programar, controlar y evaluar las operaciones de producción a muy corto plazo, para lograr el cumplimiento del Programa Maestro con la capacidad disponible y con la mayor eficiencia posible.

**Plan estratégico -> Plan agregado -> Programa Maestro -> MRP I y II -> Ejecución y Control**

### 5.1 FUNCIONES BÁSICAS:

- Evaluación y control de los pedidos a fabricar del plan de materiales o (Programa Maestro si no existe el anterior).
- Establecer las prioridades entre los pedidos o trabajos a desarrollar: Programa de Operaciones.
- Hacer el seguimiento de la evolución de los pedidos en curso a través de los centros de trabajo.
- Controlar el desarrollo de las operaciones en los centros de trabajo.
- Controlar la capacidad de cada centro de trabajo.
- Proporcionar retroalimentación al Sistema de Planificación y Control de Capacidad.

### 5.2 OBJETIVOS FUNDAMENTALES:

- Nivel de servicio: cumplimiento del PMP – ser eficaces
- Costes mínimos – ser eficientes –
  - o Mantener el menor volumen de inventarios posibles, tanto en ítems finales y componentes como de trabajo en curso, evitando los aumentos en las colas de espera.
  - o Emplear la menor cantidad posible de recursos posible, minimizando los tiempos ociosos de las instalaciones en espera de la llegada de pedidos y los tiempos de preparación entre operaciones debiendo utilizar para cada una de ellas la instalación

### 5.3 PROGRAMA DE OPERACIONES:

Tiene por objeto determinar qué operaciones se van a realizar sobre los distintos pedidos, durante cada momento del horizonte de planificación en cada Centro de Trabajo, de forma que con la capacidad disponible en cada uno de ellos, se cumplan las fechas de entrega planificadas empleando el menor volumen de recursos e inventarios disponibles.

Tipos de configuraciones productivas (clasificación en base a la configuración de la programación):

1. Configuración por proyecto -> Grande, completo, único, singular.
  - o Utilizada para la ejecución de los denominados “proyectos singulares” (productos o servicios únicos, de cierta complejidad, en los que las actividades a desarrollar son diferentes y concretas para cada caso particular.
  - o La planificación es única, singular para cada proyecto.
  - o Utilización de técnicas de planificación y control tales como: PERT (Project Evaluation and Review Technique), CPM (Cristal Path Method), PERT-Cost o ROY (Método de los Potenciales).
2. Configuración continua -> Bajo inventario (voy acumulando stock).
  - o Suele fabricarse para inventario, empleando siempre las mismas instalaciones para obtener el mismo producto, con una disposición de las máquinas en cadena.
  - o La operación que realiza cada máquina es siempre la misma, obteniéndose un producto muy estandarizado.
  - o El aprovechamiento adecuado de la instalación y de los restantes recursos vendrá dado por la calidad del diseño del proceso, el cual si es adecuado, el inventario de producción en proceso, el cual si es adecuado, el inventario de producción en proceso será el mínimo posible.
  - o Es un sistema muy eficiente, aunque muy poco flexible.

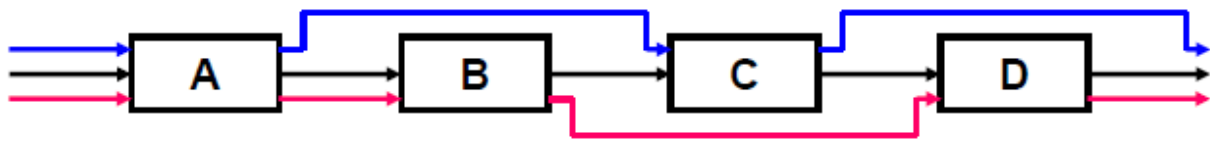
Trabajo en cadena, siempre se realiza el mismo proceso y siempre sale el mismo producto.

### 3. Configuración por lotes

- Se utilizan las mismas instalaciones (mismos centros de trabajo) para obtener artículos distintos.
- Por tanto, después de obtener un cierto lote, se parará el centro de trabajo y se preparará para la producción del siguiente lote.
- Dentro de esta configuración por lotes, podemos encontrarnos con dos tipos de procesos.

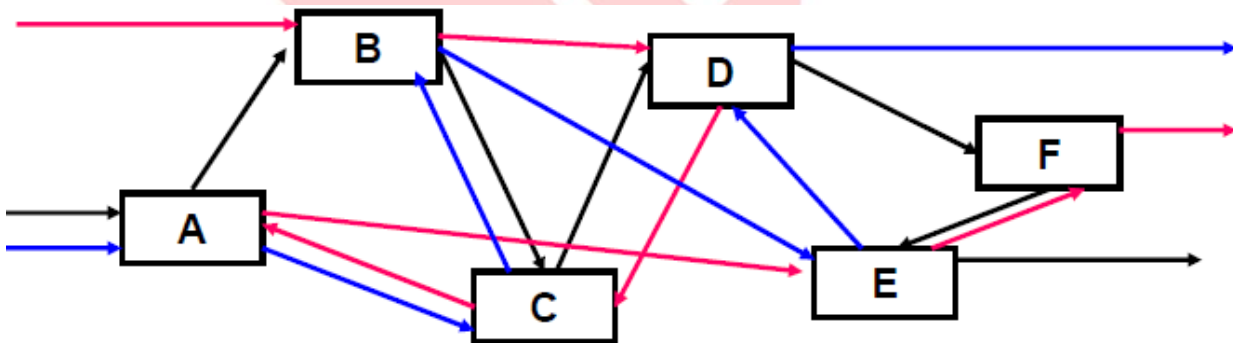
### 4. En línea:

- Utilizada en la fabricación de pocos productos en lotes homogéneos de gran tamaño (grandes series de fabricación), generalmente trabajando para inventario.
- Los puestos de trabajo están colocados en línea, aunque no todos los productos pasan por todas las operaciones de la secuencia de producción (pueden saltarse alguna)



### 5. Configuración por talleres (o funcional):

- Usa distribuciones funcionales para fabricar bajo pedido y obtener lotes de pequeño tamaño de una gran variedad de productos.
- A este tipo de configuración (lotes pequeños) se le suele denominar job-shop.
- Es un tipo de configuración muy flexible.
- Las máquinas se agrupan en los centros de trabajo en base a la función que desarrollan.
- Los lotes de los distintos artículos van de un centro de trabajo a otro para pasar por las diferentes operaciones, pudiendo ser distintas las secuencias de fabricación.
- Además, la obtención de cada lote puede diferir notablemente en términos de materiales necesarios, tiempo de proceso en cada centro de trabajo, necesidades de preparación, etc.



## 5.4 ACTIVIDADES FUNDAMENTALES

- Carga de Talleres o Asignación de carga a máquinas: Los pedidos son asignados a los centros de trabajo, indicando que operaciones se deben realizar en cada uno de ellos.
- Secuenciación: Establecer las prioridades de paso de los pedidos por los diferentes centros de trabajo, para cumplir con las fechas de entrega planificadas con el menor uso de recursos y de inventarios.
- Programación Detallada: determinar los momentos de inicio y final de las diferentes actividades a realizar en cada centro de trabajo, así como las operaciones de cada pedido para la secuenciación realizada.

- Despacho: Entrega física por parte de planificación y control de producción de una orden de trabajo a la sección de operaciones.

## 5.5 TÉCNICAS DE ASIGNACIÓN DE CARGA A TALLERES

- Aproximaciones de prueba y error: gráficos de carga (son similares a los gráficos de Gantt aunque más simplificados)
- Métodos optimizadores: método húngaro (cuando sea posible utilizar modelos basados en la programación matemática)
- Soluciones heurísticas: métodos de los índices (es el más utilizado dentro de las técnicas heurísticas).

### 1. Método de los índices: ¿Cuántos pedidos en cada centro de trabajo?

Se inicia estableciendo una solución óptima inicial sin considerar las disponibilidades de capacidad; posteriormente se van eliminando las sobrecargas mediante la consideración de un tiempo o coste de oportunidad (incremento de tiempo o de coste), derivando de mover un trabajo del centro con sobrecarga donde está actualmente asignado a otro que disponga de capacidad. La expresión de dicho tiempo o coste de oportunidad va a ser el índice de tiempo o el índice de coste, los cuales se determinan para cada pedido en cada uno de los centros de trabajo.

Ejemplo de método de los índices para carga de máquinas (tiempos de proceso, en horas, para cinco operaciones en tres máquinas:

| Operación nº      | Máquina 1 | Máquina 2 | Máquina 3 |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|
| 22C               | 100       | 150       | 125       |
| 27A               | 200       | 100       | 220       |
| 44G               | 25        | 50        | 20        |
| 32B               | 40        | 30        | ---       |
| 51E               | 60        | 50        | 70        |
| Horas disponibles | 160       | 110       | 150       |

En rojo aparecen los menores tiempos de ejecución para cada operación.

- Determinamos la eficacia de cada centro de trabajo para cada operación. A la máquina con el menor tiempo de proceso se le asigna un índice de 1,00. A la máquina siguiente (se opera horizontalmente) se le asigna un valor índice en base al tiempo de la mejor máquina.
- Asignamos las operaciones a la máquina con base al índice más bajo (operando en horizontal), si hay suficiente tiempo disponible. Si no, se asigna la operación a la máquina que tenga el siguiente índice menor si ésta tiene tiempo disponible. Se continúa realizando este proceso asta que todas las operaciones hayan sido asignadas.



| Operación Nº      | Máquina 1             |              | Máquina 2             |                | Máquina 3            |                |
|-------------------|-----------------------|--------------|-----------------------|----------------|----------------------|----------------|
|                   | Horas                 | Índice       | Horas                 | Índice         | Horas                | Índice         |
| <b>22C</b>        | <b>(100)</b>          | 1 (100/100)  | 150                   | 1,50 (150/100) | 125                  | 1,25 (125/100) |
| <b>27A</b>        | 200                   | 2 (200/100)  | <b>(100)</b>          | 1 (100/100)    | 220                  | 2,20 (220/100) |
| <b>44G</b>        | 25                    | 1,25 (25/20) | 50                    | 2,5 (50/20)    | <b>(20)</b>          | 1 (20/20)      |
| <b>32B</b>        | <b>(40)</b>           | 1,33 (40/30) | <b>30</b>             | 1 (30/30)      | ---                  | --- (0/30)     |
| <b>51E</b>        | 60                    | 1,20 (60/50) | <b>50</b>             | 1 (50/50)      | <b>(70)</b>          | 1,40 (70/50)   |
| Horas disponibles | <b>160</b>            |              | <b>110</b>            |                | <b>150</b>           |                |
| Horas asignadas   | <b>140</b> (100 + 40) |              | <b>100</b>            |                | <b>90</b> (20 + 70)  |                |
| Pend. asignación  | <b>20</b> (160 – 40)  |              | <b>10</b> (110 – 100) |                | <b>60</b> (150 – 90) |                |

En rojo aparecen los menores tiempos de ejecución para cada operación. Entre paréntesis aparecen las operaciones ya asignadas.

**Primera Solución:**

Operaciones 22C y 32B con un total de 140 horas en la máquina 1  
 Operación 22A con un total de 100 horas en la máquina 2  
 Operaciones 44G y 51E con un total de 90 horas en la máquina 3.

**2. Técnicas de Secuenciación**

- Fabricación en línea de grandes lotes.
  - Secuenciación en una sola máquina o instalación: Algoritmo de Kauffman.
  - Secuenciación en varias máquinas:
    - a) Algoritmo de Johnson.
    - b) Algoritmo de Jackson.
- Fabricación de Job-Shop (fabricación bajo pedido en lotes normalmente pequeño)
  - Procedimientos de prueba y error: El gráfico de Gantt.
  - Reglas de prioridad.
  - Otras técnicas (Teoría de colas, OPT, Q-Control).

**a) Algoritmo de Johnson para N pedidos y dos máquinas.**

Supongamos que tenemos que realizar cinco pedidos  $P_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 5$ ) en una instalación compuesta de dos máquinas M1 y M2, de acuerdo con los tiempos de la siguiente tabla:

|           | <b>P1</b> | <b>P2</b> | <b>P3</b> | <b>P4</b> | <b>P5</b> |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>M1</b> | 5         | 1         | 9         | 3         | 10        |
| <b>M2</b> | 2         | 6         | 7         | 8         | 4         |

De entre todos los pedidos  $P_i$  se escoge aquel que posea el menor tiempo de toda la tabla, independientemente de si este tiempo pertenece a la máquina M1 o M2. En caso de haber dos o más tiempos iguales, se elige cualquiera de ellos.

Si el tiempo elegido pertenece a una operación a realizar en la máquina M1, el pedido  $P_i$  elegido debe programarse delante de todos los que resten. Por el contrario, si el tiempo fuese de la máquina M2,  $P_i$  deberá ser programado detrás de todos los que aún figuren en la tabla por asignar. Eliminamos el proceso asignado y repetimos el proceso hasta asignar todos los procesos.

1. El menor tiempo de la tabla corresponde a P2 (1 hora) en M1, por lo que debe ser programado el primero. En base a esto la secuencia de operaciones y la tabla de pedidos pendientes serían:

**P2 - P? - P? - P? - P?**

Secuenciación pendiente:

|    | P1       | P2  | P3 | P4 | P5 |
|----|----------|-----|----|----|----|
| M1 | 5        | --- | 9  | 3  | 10 |
| M2 | <b>2</b> | --- | 7  | 8  | 4  |

2. El menor de los tiempos restantes corresponde ahora a P1 (2 horas) asignado a la máquina M2. Por tanto, P1 debe ser programado detrás de todos los que restan, en el último lugar de la secuencia, que queda como sigue:

**P2 - P? - P? - P? - P1**

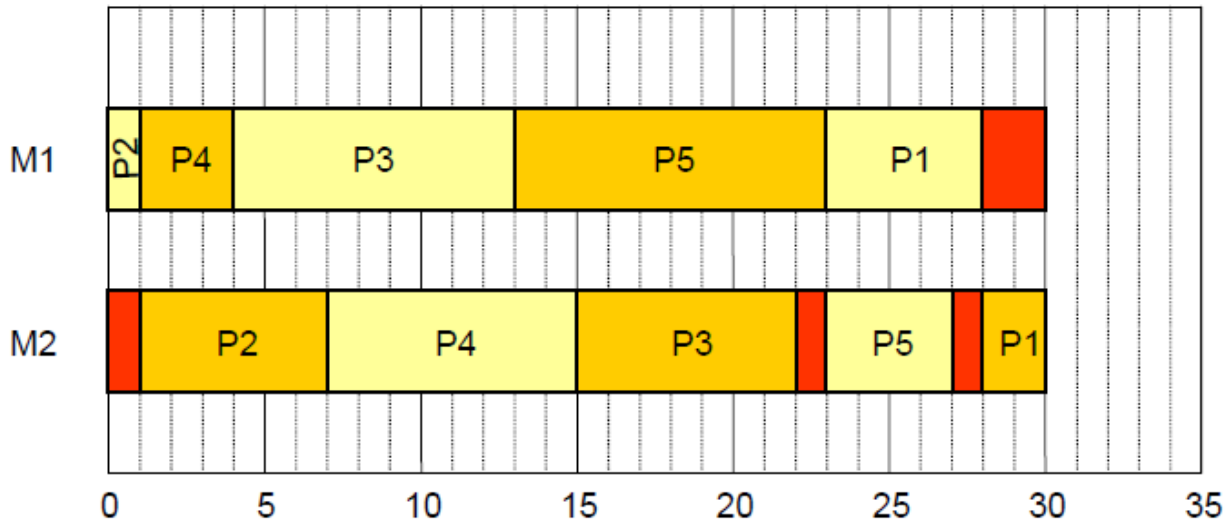
Secuenciación pendiente

|    | P1  | P2  | P3 | P4       | P5 |
|----|-----|-----|----|----------|----|
| M1 | --- | --- | 9  | <b>3</b> | 10 |
| M2 | --- | --- | 7  | 8        | 4  |

Finalmente la secuencia quedará como:

**P2 - P4 - P3 - P5 - P1**

Una vez determinada la secuencia de procesos que seguirán las máquinas, podemos realizar el gráfico **de Gantt**, que nos mostrará los tiempos ociosos de la máquina así como el tiempo necesario para finalizar todos los procesos.



**b) Algoritmo de Johnson para una empresa de servicios**

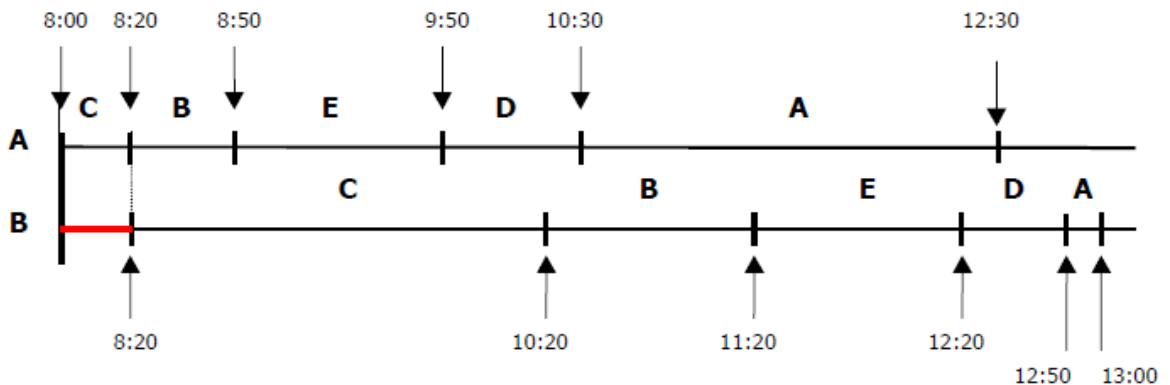
Cinco pacientes han dado pruebas positivas en un determinado análisis. Se van a programar para las pruebas definitivas por “electroforesis” y pasarán luego a la consulta con el médico para obtener tratamiento genético. Se usará un laboratorio móvil a partir de las 8 de la mañana, ya que se quiere concluir con las pruebas y la consulta lo antes posible para poder utilizar estos medios en otros menesteres. La enfermera estima que para las pruebas y el tratamiento genético se requieren para cada paciente, los tiempos que se indican en la tabla adjunta (tiempos en minutos):

| Paciente                  | A   | B  | C   | D  | E  |
|---------------------------|-----|----|-----|----|----|
| Laboratorioelectroforesis | 120 | 30 | 20  | 40 | 60 |
| Tratamiento genético      | 10  | 60 | 120 | 30 | 60 |

Se quiere determinar cuál debe ser la programación para el laboratorio y el tratamiento. Se quiere saber si será posible terminar a las 13 horas.

Aplicando el algoritmo de Johnson la ordenación será:

**C – B – E – D – A**



c) **Algoritmo de Johnson para N pedidos y tres máquinas:**

El algoritmo se basa en la creación de dos máquinas ficticias M4 y M5, en las que los tiempos de trabajo serán los siguientes:

- En M4, el tiempo de ejecución para el pedido será igual a la suma de sus tiempos en M1 y M2.
- En M5, el tiempo de ejecución para el pedido será igual a la suma de sus tiempos en M2 y M3.

Calculados estos tiempos, aplicamos para las máquinas M4 y M5 el algoritmo de Johnson igual que en los ejemplos anteriores, considerando que los pedidos pasan primero por la máquina M4 y después por M5.

Para que el algoritmo sea válido es necesario que los tiempos menores de los pedidos en la primera y última máquina de la ruta sean inferiores al tiempo máximo en la máquina intermedia.

Ejemplo:

Tenemos 5 pedidos que deben procesarse en tres máquinas o instalaciones M1, M2 y M3 y cuyos tiempos de proceso son los que se indican a continuación:

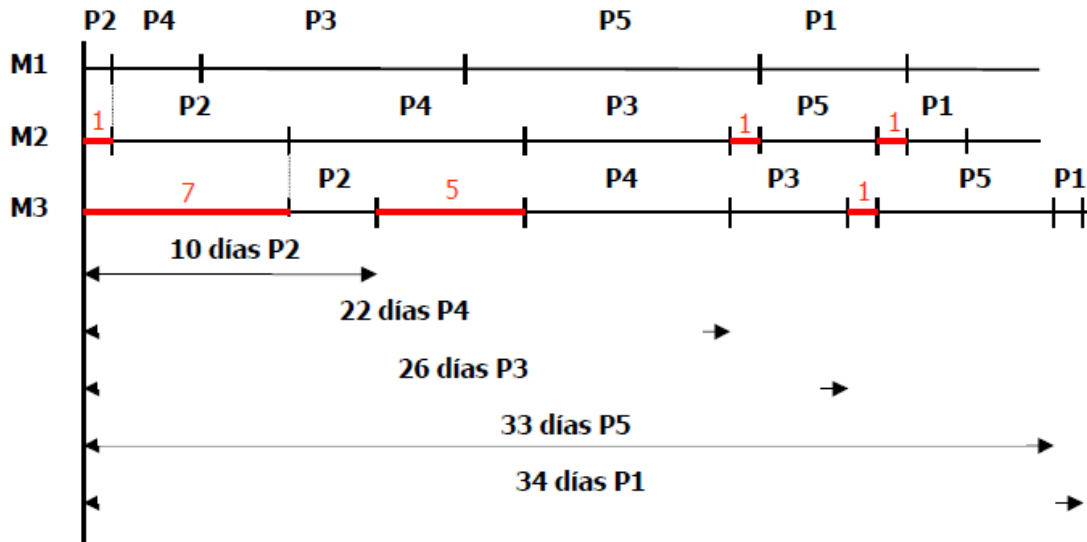
|           | <b>M1</b> | <b>M2</b> | <b>M3</b> |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>P1</b> | 5         | 2         | 1         |
| <b>P2</b> | 1         | 6         | 3         |
| <b>P3</b> | 9         | 7         | 4         |
| <b>P4</b> | 3         | 8         | 7         |
| <b>P5</b> | 10        | 4         | 6         |

1. Creamos las dos máquinas ficticias M4 y M5:

|           | <b>M1</b> | <b>M2</b> | <b>M3</b> | <b>M4</b> | <b>M5</b> |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>P1</b> | 5         | 2         | 1         | 7         | 3         |
| <b>P2</b> | 1         | 6         | 3         | 7         | 9         |
| <b>P3</b> | 9         | 7         | 4         | 16        | 11        |
| <b>P4</b> | 3         | 8         | 7         | 11        | 15        |
| <b>P5</b> | 10        | 4         | 6         | 14        | 10        |

2. En segundo lugar, aplicamos Johnson para las máquinas ficticias M4 y M5:

**P2 - P4 - P3 - P5 - P1**



Tiempo ocioso: M2: 3 días M3: 13 días

**d) Algoritmo de Jackson:**

Es un criterio de secuenciación y ordenación que trata de establecer las secuencias de paso de los pedidos por los centros de trabajo.

El enfoque de la programación es:

$n / m / F$  o  $G /$  variable a optimizar

Donde:  $n$  = número de piezas (finito o infinito según la teoría de colas)

$m$  = número de máquinas por donde tiene que pasar la pieza

$F$  = flujo de producción lineal.  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$

$G$  = flujo de producción con retrocesos.  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$

Algoritmo de Johnson:  $n / 2 / F /$  plazo de entrega

Algoritmo de Jackson:  $n / 2 / G /$  plazo de entrega

En definitiva, el algoritmo de Jackson supone que existen pedidos que necesitan pasar por la máquina M1 en primer lugar y después por M2, otros pedidos necesitarán pasar por la máquina M2 en primer lugar y después por M1. En ocasiones, también puede haber pedidos que únicamente necesiten pasar por la máquina M1 o por la máquina M2.

Veámos un ejemplo:

Supongamos que tenemos los pedidos a, b, c, d, e, f, g, h, que deben ser procesados en las máquinas A y B, cuyos tiempos y orden se indican en la tabla siguiente:

|          | Máquina A | Máquina B |
|----------|-----------|-----------|
| Pedido a | 1         | 3         |
| Pedido b | 2         | 5         |
| Pedido c | 4         | --        |
| Pedido d | --        | 3         |
| Pedido e | 3         | 3         |
| Pedido f | 4         | 2         |
| Pedido g | 5         | 1         |
| Pedido h | 3         | 6         |

El pedido primero se procesa en la máquina A y luego en la B

El pedido primero se procesa en la máquina B y luego en la A

- Máquina A: 1º - Piezas AB ordenadas por Johnson  
 2º - Piezas A  
 3º - Piezas BA ordenadas por Johnson
- Máquina B: 1º - Piezas BA ordenadas por Johnson  
 2º - Piezas B  
 3º - Piezas AB ordenadas por Johnson

|          | Máquina A | Máquina B | Orden |
|----------|-----------|-----------|-------|
| Pedido a | 1         | 3         | AB    |
| Pedido b | 2         | 5         | BA    |
| Pedido c | 4         | --        | A     |
| Pedido d | --        | 3         | B     |
| Pedido e | 3         | 3         | AB    |
| Pedido f | 4         | 2         | BA    |
| Pedido g | 5         | 1         | AB    |
| Pedido h | 3         | 6         | BA    |

Algoritmo de Jackson para N pedidos y dos máquinas (3)

Ordenación por Johnson para las piezas AB:

|          | Máquina A | Máquina B |
|----------|-----------|-----------|
| Pedido a | 1         | 3         |
| Pedido e | 3         | 3         |
| Pedido g | 5         | 1         |

a - e - g

Ordenación por Johnson para las piezas BA:

|          | Máquina A | Máquina B |
|----------|-----------|-----------|
| Pedido b | 5         | 2         |
| Pedido f | 2         | 4         |
| Pedido h | 6         | 3         |

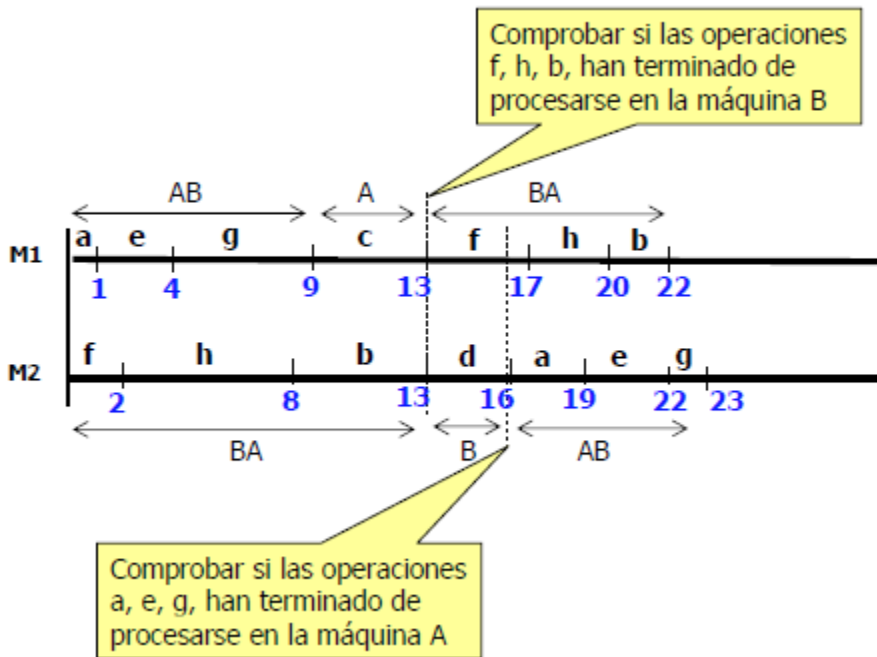
f - h - b

Secuencia:

Máquina A : a - e - g - c - f - h - b  
 AB            A            BA

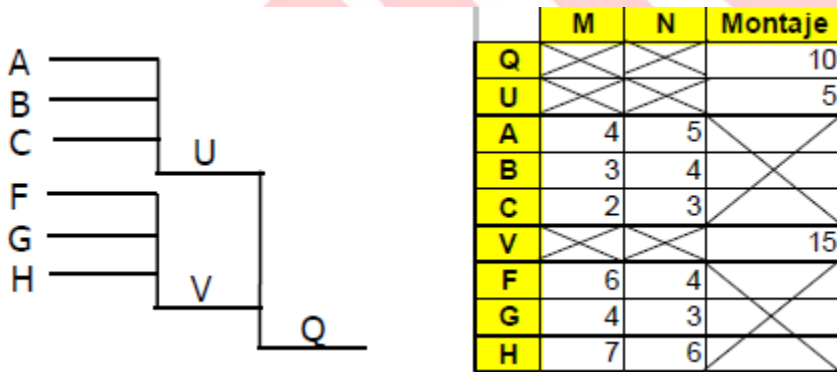
Máquina B : f - h - b - d - a - e - g  
 BA            B            AB





**e) Problema de ordenamiento de la producción:**

Una pieza Q está formada por dos subconjuntos U y V, los cuales a su vez están formados por las unidades A, B y C por una parte y F, G y H por otra, tal como se muestra en la figura. Dichas unidades se procesan en dos máquinas, M y N (es decir las unidades deben pasar primero por la máquina M y después por la N). De dichas máquinas en el taller solo existe una de cada tipo. Los tiempos están indicados en la tabla. Los subconjuntos U y V pueden realizarse simultáneamente. Las máquinas M y N están disponibles para empezar inmediatamente.



Valorar las diferentes posibilidades de tiempo de entrega mediante los gráficos de Gantt y buscar la más rápida.

## TEMA 6: EL CONTROL DE CALIDAD

Trata de evaluar los resultados obtenidos, compararlos con los resultados ideales fijados como objetivo y si existe diferencia entre ellos, actuar para minimizarla.

Además de separar los productos buenos (aquellos que se acercan satisfactoriamente a las especificaciones) de los defectuosos que deberán ser procesados o desestimados, contempla también el concepto de prevención (tomar las medidas previas que garanticen la obtención de los resultados esperados).

Es el conjunto de todos los esfuerzos realizados por toda la empresa encaminados a la obtención de los productos conforme a las especificaciones requeridas y al mínimo coste.

### SISTEMA DE HERRAMIENTAS BÁSICAS DE CONTROL DE CALIDAD

#### 6.1 DIAGRAMA DE PARETO

Basado en la idea de que, en general, la mayoría de pérdidas generadas por un artículo pueden atribuirse a un número reducido de defectos, los cuales se deben a un reducido número de causas.

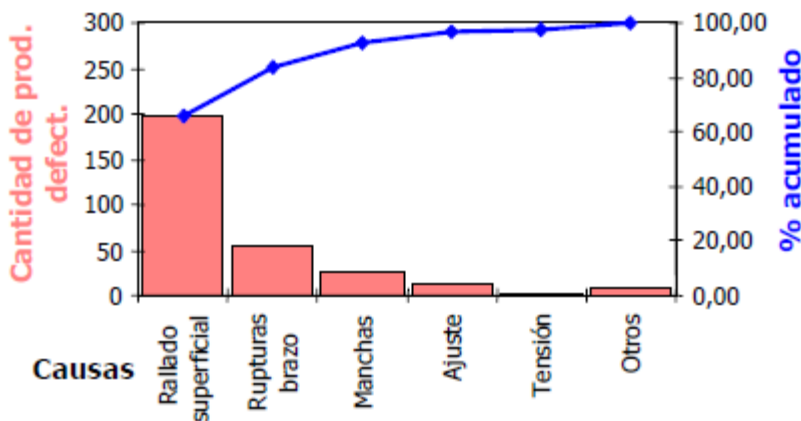
Ley 20-80 de Pareto -> el 20% de problemas generan el 80% de artículos defectuosos.

Trata de separar las pocas causas vitales del resto de causas de menor importancia denominadas triviales.

Los diagramas de Pareto sirven para identificar rápidamente y de forma sencilla las causas de un problema de calidad.

Ejemplo: Una empresa produce determinado artículo del cual se han detectado algunos defectos de fabricación. Para tratar de eliminarlos se quiere saber cuáles de ellos ocasionan la mayor parte de artículos defectuosos.

| Tipo de defecto     | Cantidad de prod. defect. | Cantidad acumulada | % de productos defectuosos | % acumulado |
|---------------------|---------------------------|--------------------|----------------------------|-------------|
| Rallado superficial | 198                       | 198                | 66,00                      | 66,00       |
| Rupturas brazo      | 53                        | 251                | 17,67                      | 83,67       |
| Manchas             | 28                        | 279                | 9,33                       | 93,00       |
| Ajuste              | 11                        | 290                | 3,67                       | 96,67       |
| Tensión             | 2                         | 292                | 0,67                       | 97,33       |
| Otros               | 8                         | 300                | 2,67                       | 100,00      |
| <b>Total</b>        | <b>300</b>                |                    | <b>100,00</b>              |             |





Si conseguimos eliminar únicamente las dos causas principales del problema (rallado superficial y rupturas del brazo) eliminaremos el 84% de los artículos defectuosos.

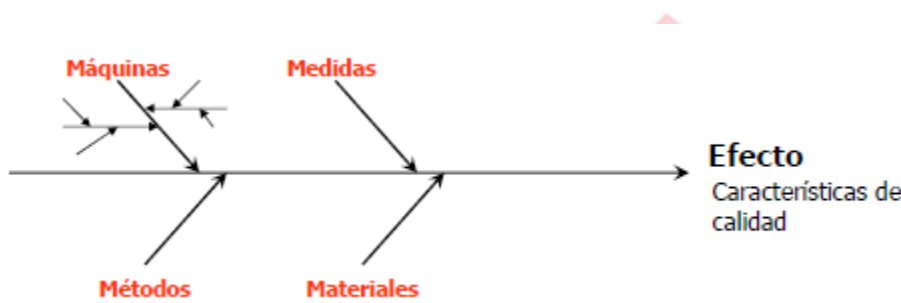
## 6.2 DIAGRAMA CAUSA EFECTO

También conocido como diagrama de Ishikawa (Kaoru Ishikawa fue el primero en utilizarlo) o de espina de pescado (por su forma) se utiliza para clasificar y clarificar las causas que ocasionan un efecto.

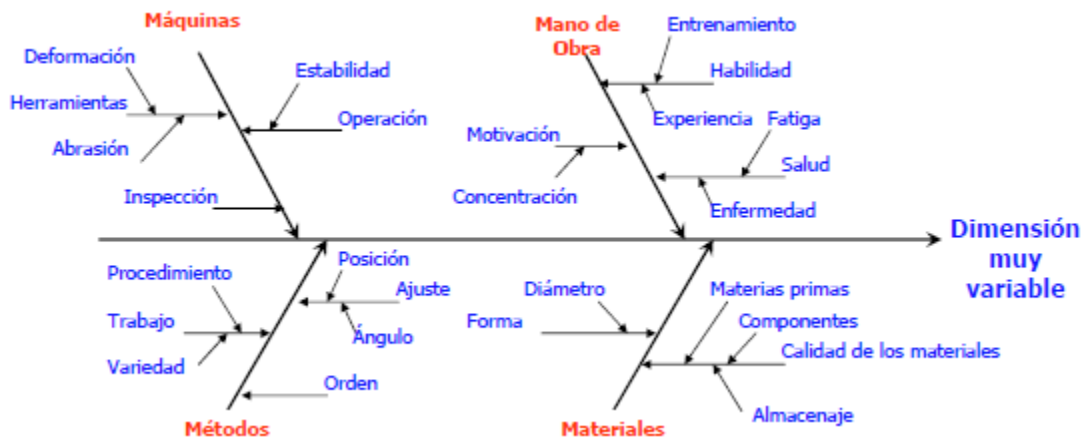
Para solucionar un problema hay que identificar y atacar las causas, no los efectosos.

La estructura básica de estos diagramas está formada por una flecha central, el tronco del gráfico, a la derecha del cual se sitúa el efecto que se quiere estudiar. Por tanto, en primer lugar deberemos definir el problema de calidad que se quiere estudiar e identificar el efecto que lo mire para, posteriormente, poder clasificar las causas que lo originan.

En el diagrama, las causas se colocan de forma ordenada en las ramificaciones:



- Dentro de estas grandes ramas se van situando las causas, de forma ordenada, en pequeñas ramificaciones.
- En la identificación de las causas, previa a la construcción del diagrama, puede realizarse una sesión de brainstorming con el personal implicado.



Las causas identificadas y clasificadas en estos diagramas son potenciales. Es decir, estos gráficos deben ser el punto de partida para la verificación y confirmación de las verdaderas causas que ocasionen el efecto y de su posterior eliminación.

## 6.3 PLANTILLAS DE RECOGIDAS DE DATOS.

Son hojas impresas para registrar datos de forma ordenada, simple y precisa, de manera que se facilite el trabajo de recogida al operario y no se le dificulte la realización de sus actividades habituales.

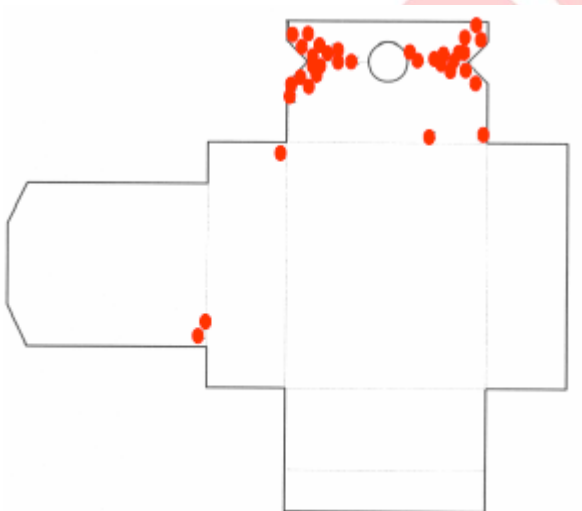
Sus dos objetivos fundamentales son: facilitar la recogida de los datos y organizar estos datos para poder ser analizados con facilidad posteriormente.

Existen diferentes tipos de plantillas en función de su utilización:

- Hojas para el control de artículos defectuosos.  
Se utiliza para detectar los tipos de defectos y sus porcentajes de presencia en productos defectuosos y así poderlos reducir.

| Plantilla de inspección                  |     |     |     |     |     |                    |     |    |  |  |       |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|--------------------|-----|----|--|--|-------|
| Código del Producto: 25312-A             |     |     |     |     |     | Fecha: 12-marzo-97 |     |    |  |  |       |
| Proceso: inspección final                |     |     |     |     |     | Operario:          |     |    |  |  |       |
| Defectos: rallado, incompleto, deformado |     |     |     |     |     | Lote:              |     |    |  |  |       |
| Tipo                                     |     |     |     |     |     |                    |     |    |  |  | Total |
| Rallado                                  | +++ | +++ | +++ | +++ | +++ | +++                | +++ | ++ |  |  | 37    |
| Fisuras                                  | +++ | +++ | +++ |     |     |                    |     |    |  |  | 14    |
| Deformado                                | +++ | +++ | +++ | +++ | +++ |                    |     |    |  |  | 23    |
| Incompleto                               | +++ |     |     |     |     |                    |     |    |  |  | 5     |
| Otros                                    | +++ | +++ |     |     |     |                    |     |    |  |  | 8     |
| Observaciones:                           |     |     |     |     |     |                    |     |    |  |  | Total |
|  |     |     |     |     |     |                    |     |    |  |  | 87    |

- Hojas de ubicación de defectos.  
Son croquis de la pieza que se fabrica, en el que se ubican los defectos de fabricación. Con ello puede observarse fácilmente si los defectos se localizan siempre en el mismo lugar.



- Hojas de control para la distribución del proceso de producción: Listas de chequeo  
Sirven para la recogida de datos de variables continuas como el peso, el diámetro, el volumen, etc. A partir de ellas se puede construir un histograma para estudiar la distribución de las características del proceso, calcular la medida y la dispersión.

| Plantilla de inspección    |             |     |     |     |     |                      |     |     |     |     |       |
|----------------------------|-------------|-----|-----|-----|-----|----------------------|-----|-----|-----|-----|-------|
| Código del Producto: _____ |             |     |     |     |     | Fecha: _____         |     |     |     |     |       |
| Proceso: _____             |             |     |     |     |     | Medidor: _____       |     |     |     |     |       |
| Lote: _____                |             |     |     |     |     | Observaciones: _____ |     |     |     |     |       |
| Dimensión                  | Frecuencias |     |     |     |     |                      |     |     |     |     | Total |
|                            | 5           | 10  | 15  | 20  | 25  | 30                   | 35  | 40  | 45  |     |       |
| 300-309                    |             |     |     |     |     |                      |     |     |     |     |       |
| 310-319                    | ++          |     |     |     |     |                      |     |     |     |     | 2     |
| 320-329                    | +++         | ++  |     |     |     |                      |     |     |     |     | 7     |
| 330-339                    | +++         | +++ | +++ | +++ | +   |                      |     |     |     |     | 21    |
| 340-349                    | +++         | +++ | +++ | ++  |     |                      |     |     |     |     | 17    |
| 350-359                    | +++         | +++ | +++ | +++ | +++ |                      |     |     |     |     | 23    |
| 360-369                    | +++         | +++ | +++ | +++ | +++ | +++                  | +++ | +++ | +++ |     | 38    |
| 370-379                    | +++         | +++ | +++ | +++ | +++ | +++                  | +++ | +++ | +++ | +++ | 34    |
| 380-389                    | +++         | +++ | +++ | +++ | +++ | +++                  | +++ | +   |     |     | 31    |
| 390-399                    | +++         | +++ | +++ | ++  |     |                      |     |     |     |     | 17    |
| 400-410                    | +++         | +++ |     |     |     |                      |     |     |     |     | 8     |
| 420-429                    | +++         |     |     |     |     |                      |     |     |     |     | 3     |
| 430-439                    | +           |     |     |     |     |                      |     |     |     |     | 1     |

## 6.4 HISTOGRAMA

Es un gráfico que representa la distribución en una serie de datos, ordenados de manera que sea posible analizar la frecuencia de ocurrencia de estos datos.

Las funciones de los histogramas son:

- Comprobar si la producción está dentro de las especificaciones.
- Determinar el comportamiento de la distribución de los datos mediante la forma del Histograma.
- Observar la necesidad de estratificar los datos, por existir interferencias de diversos factores que pueden afectar la variabilidad del proceso. En este caso, se querrá separar los datos en subpoblaciones para diferenciar las causas que provocan la dispersión y poder identificar los orígenes con mayor facilidad.

Ejemplo:

Se disponen de 100 mediciones del diámetro de una pieza cilíndrica. Conviene disponer de un número  $n$  (entre 50 y 100) de datos sobre la característica que se quiere estudiar.

- En primer lugar, hay que dividir los datos aproximadamente en 10 grupos, tal y como aparecen en la tabla. Las dos últimas columnas presentan los valores máximos y mínimos de cada fila de datos.

| Datos |      |      |      |      |      |      |      |      |      | Máx  | Min  |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 7,38  | 7,39 | 7,41 | 7,19 | 7,26 | 7,52 | 7,39 | 7,20 | 7,41 | 7,40 | 7,52 | 7,19 |
| 7,31  | 7,42 | 7,43 | 7,39 | 7,28 | 7,33 | 7,32 | 7,37 | 7,36 | 7,26 | 7,43 | 7,26 |
| 7,35  | 7,33 | 7,23 | 7,58 | 7,39 | 7,45 | 7,35 | 7,29 | 7,42 | 7,35 | 7,58 | 7,23 |
| 7,40  | 7,36 | 7,36 | 7,38 | 7,48 | 7,39 | 7,44 | 7,36 | 7,42 | 7,28 | 7,48 | 7,28 |
| 7,35  | 7,35 | 7,38 | 7,46 | 7,36 | 7,39 | 7,19 | 7,28 | 7,41 | 7,38 | 7,46 | 7,19 |
| 7,29  | 7,29 | 7,42 | 7,53 | 7,38 | 7,35 | 7,39 | 7,39 | 7,28 | 7,41 | 7,53 | 7,28 |
| 7,53  | 7,26 | 7,36 | 7,42 | 7,39 | 7,34 | 7,34 | 7,27 | 7,39 | 7,20 | 7,53 | 7,2  |
| 7,38  | 7,34 | 7,42 | 7,45 | 7,35 | 7,38 | 7,38 | 7,44 | 7,29 | 7,38 | 7,45 | 7,29 |
| 7,51  | 7,52 | 7,45 | 7,36 | 7,38 | 7,37 | 7,39 | 7,46 | 7,42 | 7,30 | 7,52 | 7,3  |
| 7,33  | 7,44 | 7,34 | 7,34 | 7,33 | 7,33 | 7,37 | 7,36 | 7,37 | 7,41 | 7,44 | 7,33 |

- En segundo lugar, se determina la amplitud de la totalidad de datos:  
Valor máximo – Valor mínimo  $\rightarrow 7,58 - 7,19 = 0,39$
- En tercer lugar, dividimos el valor obtenido por  $k = 10$  para obtener el número de clases (grupos o barras del histograma) en los que clasificaremos los datos:

$$h = \frac{\text{Máx} - \text{Min}}{k} = \frac{0,39}{10} = 0,039 \rightarrow 0,04 \rightarrow 0,05$$

- El intervalo  $h$  será la unidad de graduación horizontal del histograma: tomamos 0,05 para facilitar la construcción del gráfico.
- El número de clases  $k$ , adecuado es función del número de datos  $n$ :

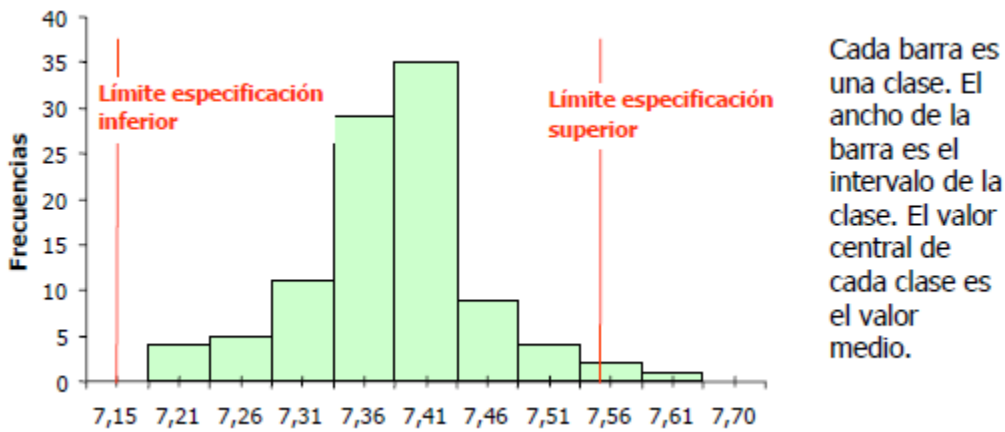
| Número de datos $n$ | Número de clases $k$ |
|---------------------|----------------------|
| Menos de 50         | 5 – 7                |
| 50 - 100            | 6 – 10               |
| 100 - 250           | 7 – 12               |
| Más de 250          | 10 – 20              |

- El valor que limita la clase se fija empezando en un extremo de la amplitud. Normalmente se determinan tomando como unidad del límite de las clases la mitad de la unidad de medida de los valores reales. Es decir, en nuestro caso, el valor mínimo es 7,19 y la unidad de medida de los valores es de 0,01. Por tanto, el límite de la primera clase será:  $7,19 - 0,01/2 = 7,185$
- Los límites de las clases (ancho de las barras) serán  $7,185 - 7,235$ ;  $7,235 - 7,285$ ;  $7,285 - 7,335$ ;  $7,335 - 7,385$ ;...

- A continuación, hay que hacer la tabla de frecuencias, contando los datos que pertenecen a cada clase:

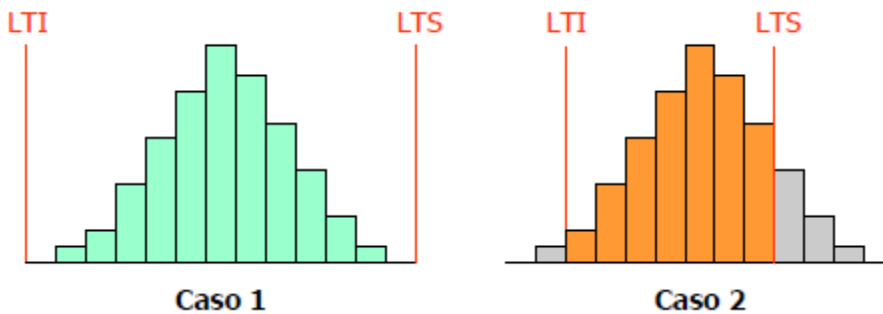
| Tabla de frecuencias |                   |       |             |                        |      |     |     |     |      |     |            |     |
|----------------------|-------------------|-------|-------------|------------------------|------|-----|-----|-----|------|-----|------------|-----|
| Clase nº             | Límites de Clases |       | Valor medio | Cómputo de frecuencias |      |     |     |     |      |     | Frecuencia |     |
| 1                    | 7,185             | 7,235 | 7,21        | IIII                   |      |     |     |     |      |     |            | 4   |
| 2                    | 7,235             | 7,285 | 7,26        | III                    |      |     |     |     |      |     |            | 5   |
| 3                    | 7,285             | 7,335 | 7,31        | III                    | III  | I   |     |     |      |     |            | 11  |
| 4                    | 7,335             | 7,385 | 7,36        | III                    | III  | III | III | III | IIII |     |            | 29  |
| 5                    | 7,385             | 7,435 | 7,41        | III                    | III  | III | III | III | III  | III |            | 35  |
| 6                    | 7,435             | 7,485 | 7,46        | III                    | IIII |     |     |     |      |     |            | 9   |
| 7                    | 7,485             | 7,535 | 7,51        | IIII                   |      |     |     |     |      |     |            | 4   |
| 8                    | 7,535             | 7,585 | 7,56        | II                     |      |     |     |     |      |     |            | 2   |
| 9                    | 7,585             | 7,635 | 7,61        | I                      |      |     |     |     |      |     |            | 1   |
|                      |                   |       |             |                        |      |     |     |     |      |     | N =        | 100 |

- A partir de estos datos ordenados se contruye el histograma, en unos ejes cartesianos. En el eje de las abscisas se grafica la característica de calidad que se quiere controlar ordenada por clases. En el eje de ordenadas se mide la frecuencia (número de datos que contiene cada clase).



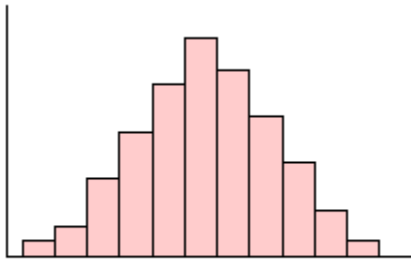
- Supongamos que el diámetro del cilindro del ejemplo puede oscilar entre 7,15 cm y 7,55 cm (límites de tolerancia)
- El proceso está **descentrado a la derecha** y se están produciendo un cierto número de piezas fuera de las especificaciones.

Otros casos de histogramas pueden ser:

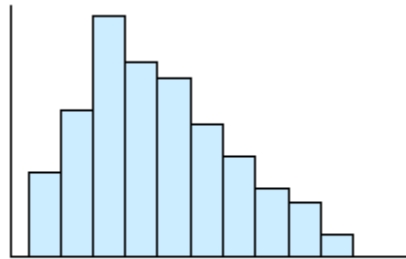


En los casos 1 y 2 la distribución de frecuencias es la misma, la diferencia está en los límites fijados (límites de tolerancia).

- El caso 1 está **centrado** y se encuentra dentro de los límites de tolerancia.
- El caso 2 además de ser un proceso **descentrado**, presenta algunos artículos fuera de las especificaciones.

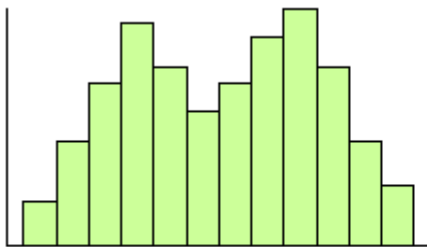


**Caso 3**

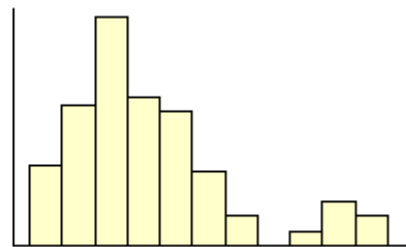


**Caso 4**

- El caso 3 es la forma general, la típica forma **de campana** que representa una variabilidad debida a causas aleatorias. Es el caso ideal de distribución.
- El caso 4 presenta una distribución **sesgada a la derecha** que indica que los datos no siguen una ley normal.



**Caso 5**



**Caso 6**

- El caso 5 es una distribución de frecuencias con **dos picos (doble pico)** que normalmente viene provocado por la mezcla de muestras de dos o más fuentes diferentes.
- El caso 6 es una distribución con un pico pequeño aislado que puede indicar anomalías o errores, ya que **los datos no siguen el comportamiento general**. Probablemente existe una causa asignable que se debería determinar.

## 6.5 DIAGRAMA BIVARIANTE

Son útiles para analizar si existe relación entre una característica de calidad y un factor. También se denominan **gráficos de dispersión o de correlación**.

Pasos para su construcción.

- Identificar factores que se cree que están correlacionados.
- Se toman pares de datos en una cantidad de 50 aproximadamente (100 datos)
- Dibujar unos ejes de coordenadas sobre los que se situarán las parejas de datos.
- Si una de las variables es una característica de calidad, ésta se situará en el eje vertical.

Para conocer el grado de correlación de forma cuantitativa, podemos calcular el coeficiente de correlación:

$$r = \frac{S_{XY}}{\sqrt{S_{XX} \cdot S_{YY}}} ; \quad S_{XX} = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 = \sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n X_i)^2}{n}$$

$$S_{YY} = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 = \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n Y_i)^2}{n} ; \quad S_{XY} = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}) \cdot (Y_i - \bar{Y}) = \sum_{i=1}^n X_i \cdot Y_i - \frac{(\sum_{i=1}^n X_i) \cdot (\sum_{i=1}^n Y_i)}{n}$$

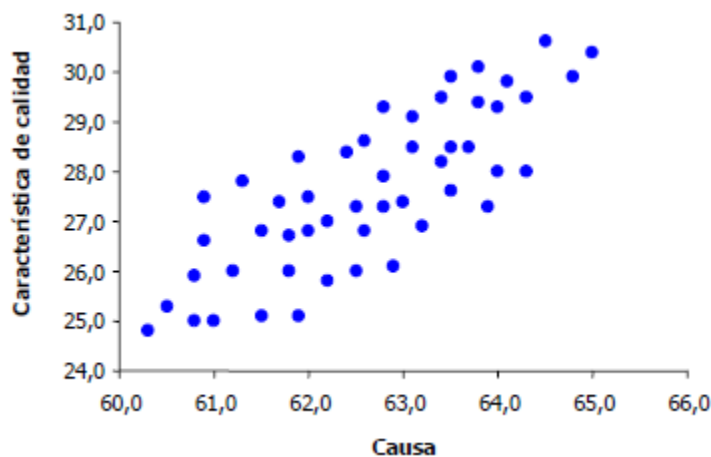
El coeficiente de correlación toma valores entre -1 y 1. Si el valor resultante es próximo a 1, indica que existe una fuerte correlación positiva, si es próximo a -1, la correlación existente es negativa y si es próximo a 0 la correlación es débil.

Ejemplo:

| Nº | X    | Y    |
|----|------|------|
| 1  | 60,8 | 25   |
| 2  | 61,2 | 26   |
| 3  | 60,3 | 24,8 |
| 4  | 62,5 | 27,3 |
| 5  | 61,3 | 27,8 |
| 6  | 60,8 | 25,9 |
| 7  | 63   | 27,4 |
| 8  | 61,5 | 26,8 |
| 9  | 63,4 | 29,5 |
| 10 | 64,1 | 29,8 |
| 11 | 63,2 | 26,9 |
| 12 | 61,9 | 28,3 |
| 13 | 61,7 | 27,4 |
| 14 | 62,6 | 28,6 |
| 15 | 63,9 | 27,3 |
| 16 | 61,8 | 26,7 |
| 17 | 61,8 | 26   |
| 18 | 60,5 | 25,3 |
| 19 | 60,9 | 27,5 |
| 20 | 63,8 | 29,4 |
| 21 | 64,5 | 30,6 |
| 22 | 65   | 30,4 |
| 23 | 62,8 | 29,3 |
| 24 | 63,8 | 30,1 |
| 25 | 60,9 | 26,6 |

| Nº | X    | Y    |
|----|------|------|
| 26 | 61,5 | 25,1 |
| 27 | 64   | 29,3 |
| 28 | 63,1 | 29,1 |
| 29 | 63,5 | 28,5 |
| 30 | 64,8 | 29,9 |
| 31 | 62   | 27,5 |
| 32 | 62,9 | 26,1 |
| 33 | 62,5 | 26   |
| 34 | 64   | 28   |
| 35 | 62,8 | 27,9 |
| 36 | 63,5 | 29,9 |
| 37 | 64,3 | 29,5 |
| 38 | 62,6 | 26,8 |
| 39 | 62,2 | 25,8 |
| 40 | 63,1 | 28,5 |
| 41 | 62,8 | 27,3 |
| 42 | 62,4 | 28,4 |
| 43 | 63,5 | 27,6 |
| 44 | 63,7 | 28,5 |
| 45 | 62,2 | 27   |
| 46 | 62   | 26,8 |
| 47 | 61,9 | 25,1 |
| 48 | 63,4 | 28,2 |
| 49 | 61   | 25   |
| 50 | 64,3 | 28   |

La variable *X* es una posible causa y la *Y* es la característica de calidad que se sospecha relacionada (efecto).



Las dos variables representadas tienen una cierta correlación positiva, es decir que la característica de calidad está relacionada con la causa tal y como se sospechaba.

En nuestro ejemplo:  $S_{xx} = 71,56$ ;  $S_{yy} = 122,53$ ;  $S_{xy} = 74,46$   
 $r = 0,7952$  (cierta correlación positiva)

## 6.6 ESTRATIFICACIÓN

Es un método para identificar los orígenes de la variación de los datos recogidos, cuando estos pueden ser originados por varias causas.

Cuando un artículo se fabrica por diferentes máquinas, por diferentes operarios o con diferentes materiales, conviene clasificar los datos separándolos por máquinas, operarios o materiales. De esta manera será posible identificar si es precisamente una máquina la que proporciona un proceso descentrado, causa que puede que no encontráramos si todos los datos estuvieran mezclados.

La estratificación es una de las siete herramientas básicas de Ishikawa, aunque se utiliza como metodología cuando utilizamos el resto de herramientas.

- **Control estadístico del proceso (SPC en inglés):**

Es la aplicación de técnicas estadísticas para medir y analizar las variaciones de un proceso. Las causas de estas variaciones son de dos tipos: aleatorias y asignables.

o Causas aleatorias:

- No se pueden controlar ya que se producen al azar.
- Afectan a todos los procesos de producción y hay que preverlas siempre.

o Causas asignables:

- Pueden ser estudiadas, lo cual es interesante ya que son las que más contribuyen a la variación de un proceso.
- Normalmente se deben a la fatiga o a la diferente experiencia de los trabajadores, el desgaste de las máquinas, al diferente comportamiento de los materiales, etc., de manera que es imposible obtener dos productos idénticos.
- Lo mismo sucede en las empresas de servicios: un cocinero no podrá obtener dos platos exactamente iguales o un profesor no puede impartir exactamente dos clases idénticas...

- **Análisis de la capacidad de un proceso:**

La capacidad del proceso se define como la amplitud de la variabilidad del proceso cuando este está bajo control, es decir, en ausencia de variaciones de causas asignables.

Cuando se diseña un producto se define la medida deseada o cota nominal y un cierto intervalo de tolerancia, el cual define aquellos límites dentro de los que, aunque el artículo no tenga la medida exacta, el producto continua siendo útil. Este campo de tolerancias está ajustado por el límite de tolerancia superior (LTS) y el límite de tolerancia inferior (LTI).

Lo hemos observado en el caso de los Histogramas.

## 6.7 GRÁFICOS DE CONTROL

Su objetivo es poder diferenciar las variaciones debidas a causas aleatorias de las debidas causas asignables.

El eje vertical contiene el rango del atributo que se quiere controlar, donde además se sitúan los límites de control inferior y superior (LCI y LCS) y un valor central (VC) que corresponde a la media del proceso.

El eje horizontal es el tiempo.

De esta manera se puede observar la evolución de la característica de calidad que se está estudiando en función del tiempo, y compararla con los límites de control establecidos.

Tipos:

**a) Gráficos de control por variables:**

Las mediciones se realizan sobre alguna característica de calidad continua (número infinito de valores), como el peso, longitud, velocidad, densidad, volumen,...

Para realizar el seguimiento de un proceso de naturaleza continua se utilizan los gráficos de control para la media y el rango R.

Para empezar, es necesario verificar si las muestras utilizadas son representativas. Para que lo sean, deberemos tomar de 100 a 150 elementos, agrupados en muestras de 4 o 5 unidades.

o Media de las muestras.

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

o Rango de las muestras.

$$R = \text{Máximo Valor} - \text{Mínimo Valor}$$

- o Media para las X y para las R:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots + \bar{X}_k}{k} = \frac{\sum_{i=1}^k \bar{X}_i}{k} ; \quad \bar{\bar{R}} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_k}{k} = \frac{\sum_{i=1}^k R_i}{k}$$

Ejemplo:

Tomamos 25 muestras de 5 unidades.

| Muestra | Valor 1 | Valor 2 | Valor 3 | Valor 4 | Valor 5 | Media          | Rango        |             |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------------|--------------|-------------|
| 1       | 15      | 14      | 13      | 14      | 14      | 14             | 2            |             |
| 2       | 16      | 14      | 12      | 13      | 15      | 14             | 4            |             |
| 3       | 13      | 15      | 15      | 11      | 12      | 13,2           | 4            |             |
| 4       | 15      | 15      | 14      | 15      | 18      | 15,4           | 4            |             |
| 5       | 14      | 13      | 16      | 14      | 14      | 14,2           | 3            |             |
| 6       | 16      | 15      | 15      | 15      | 16      | 15,4           | 1            |             |
| 7       | 15      | 14      | 15      | 16      | 15      | 15             | 2            |             |
| 8       | 15      | 14      | 15      | 15      | 16      | 15             | 2            |             |
| 9       | 14      | 16      | 14      | 14      | 13      | 14,2           | 3            |             |
| 10      | 14      | 18      | 14      | 14      | 13      | 14,6           | 5            |             |
| 11      | 12      | 13      | 12      | 12      | 15      | 12,8           | 3            |             |
| 12      | 15      | 15      | 12      | 15      | 11      | 13,6           | 4            |             |
| 13      | 15      | 18      | 15      | 14      | 14      | 15,2           | 4            |             |
| 14      | 16      | 15      | 15      | 13      | 15      | 14,8           | 3            |             |
| 15      | 13      | 16      | 16      | 15      | 16      | 15,2           | 3            |             |
| 16      | 18      | 17      | 15      | 13      | 14      | 15,4           | 5            |             |
| 17      | 14      | 12      | 14      | 14      | 17      | 14,2           | 5            |             |
| 18      | 15      | 13      | 14      | 14      | 15      | 14,2           | 2            |             |
| 19      | 16      | 14      | 14      | 12      | 15      | 14,2           | 4            |             |
| 20      | 14      | 16      | 18      | 14      | 19      | 16,2           | 5            |             |
| 21      | 14      | 18      | 13      | 13      | 18      | 15,2           | 5            |             |
| 22      | 13      | 19      | 15      | 14      | 14      | 15             | 6            |             |
| 23      | 13      | 14      | 15      | 14      | 18      | 14,8           | 5            |             |
| 24      | 14      | 12      | 11      | 16      | 12      | 13             | 5            |             |
| 25      | 17      | 14      | 15      | 13      | 17      | 15,2           | 4            |             |
|         |         |         |         |         |         | <b>TOTALES</b> | <b>14,56</b> | <b>3,72</b> |

- Media de la primera muestra:

$$\bar{X}_1 = \frac{15 + 14 + 13 + 14 + 14}{5} = 14,00$$

- Rango de la primera muestra

$$R = 15 - 13 = 2$$

- Media para las X y para las R:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{14,0 + 14,0 + 13,2 + \dots + 14,8 + 13,0 + 15,2}{25} = 14,56 \quad ; \quad \bar{\bar{R}} = \frac{2 + 4 + 4 + \dots + 5 + 5 + 4}{25} = 3,72$$

**Gráfico X**

Valor central: VC = X = 14,56

Límite control superior:

$$LCS = X + A_2xR = 14,56 + 0,577 * 3,72 = 16,70644$$

Límite control inferior:

$$LCI = X - A_2xR = 14,56 - 0,577 * 3,72 = 12,414$$

**Gráfico R:**

Valor central: VC = R = 3,72

Límite control superior:

$$LCS = D_4xR = 2,115 * 3,72$$

Límite control inferior:

$$LCI = D_3xR = 0 * 3,72 = 0$$





Los parámetros  $A_2$ ,  $D_3$  y  $D_4$  toman los siguientes valores en función del tamaño de la muestra  $n$ :

| $n$ | $A_2$ | $D_3$ | $D_4$ |
|-----|-------|-------|-------|
| 2   | 1,88  | 0     | 3,267 |
| 3   | 1,023 | 0     | 2,575 |
| 4   | 0,729 | 0     | 2,282 |
| 5   | 0,577 | 0     | 2,115 |
| 6   | 0,483 | 0     | 2,004 |
| 7   | 0,419 | 0,076 | 1,924 |
| 8   | 0,373 | 0,136 | 1,864 |
| 9   | 0,337 | 0,184 | 1,818 |
| 10  | 0,308 | 0,223 | 1,777 |

Gráfico X

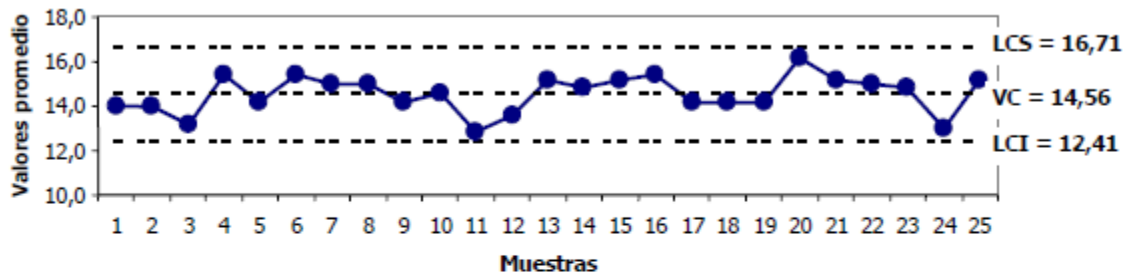
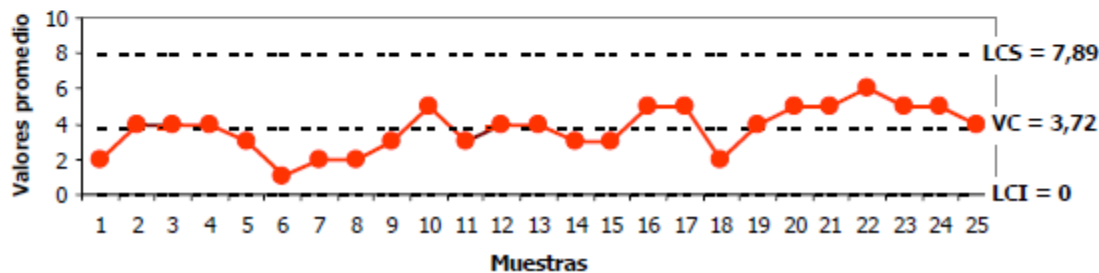


Gráfico R



**Por lo tanto:**

Gráfico X: Presenta variaciones en el valor medio del proceso.

Gráfico R: Indica las variaciones en la dispersión del proceso.

Por este motivo, los gráficos de control por variables son especialmente interesantes ya que nos muestran las variaciones en la media y la dispersión al mismo tiempo, y nos indica posibles anomalías en el proceso.

En este caso, los gráficos tanto de las medias como de los rangos, observamos que el proceso está bajo control, ya que:

1. Todos los puntos de los gráficos están dentro de los límites de control.
2. Los puntos no se agrupan de una forma peculiar.

**b) Gráficos de control por atributos:**

Un atributo es una característica de calidad que no puede ser medida.

Los gráficos de control por atributos clasifican el producto como aceptable o defectuoso.

Por ejemplo, en el caso de posibles grietas en una pieza, se quiere saber si el producto contiene esta característica (de no calidad) para determinar si el producto es aceptable o defectuoso.

Debido a que un producto defectuoso puede tener uno o más defectos, estos gráficos permiten controlar el número de defectos o el número de productos defectuosos. En función de esta distinción y del tipo de muestra (constante o variable) existen diferentes tipos.

| Tipo de control              | Tipo de la muestra |           |
|------------------------------|--------------------|-----------|
|                              | Constante          | Variable  |
| Número de piezas defectuosas | Gráfico np         | Gráfico p |
| Número de defectos           | Gráfico c          | Gráfico u |

**c) Muestreo de aceptación:**

El muestreo de aceptación determina cuál es el porcentaje de productos que cumplen las especificaciones.

Generalmente se utiliza para inspeccionar los elementos (materias primas, productos semi-elaborados, componentes, etc.) que la empresa compra al exterior, aunque también se realiza en piezas que ya han pasado por una etapa del proceso de producción y se evalúan antes de ser procesadas por la siguiente.

Esta técnica implica tomar muestras aleatorias de lotes de productos, medirlos y compararlos con los estándares predeterminados, siendo mucho más económico que la inspección del 100%. La calidad de la muestra se utiliza para juzgar la calidad de todos los elementos del lote. Puede ser por variables o por atributos.

**d) Muestreo simple por atributos:**

El muestreo de aceptación se realiza mediante un plan de muestreo.

Un plan de muestreo simple se define por el número de unidades de la muestra,  $n$ , y por el número de aceptación (número máximo de defectos que pueden encontrarse en la muestra antes de rechazar el lote),  $c$ .

- o Si la muestra inspeccionada tiene un número de defectos inferior a  $c$ , el lote se acepta.
- o Si el número es superior, o bien el lote se rechaza, o bien se somete a una inspección del 100%.

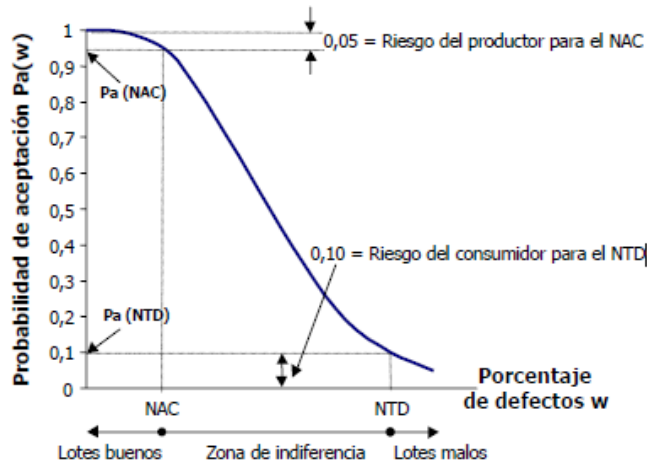
Ejemplo:

- Supongamos que queremos aceptar todos los lotes que no superen el 2,5% de defectuosos y rechazar el resto.
- Disponemos de un lote de 1.000 piezas de las que el 4% son realmente defectuosas.
- En el proceso de inspección, se ha tomado una muestra de 20 piezas y ninguna de ellas es defectuoso, consecuentemente el lote se acepta.
- En este caso, el plan de muestreo lleva a un resultado erróneo. La muestra de 20 piezas podría haber contenido, por las leyes del azar, una, dos, tres, ... piezas defectuosas.
- Este hecho es fundamental para los planes de muestreo, ya que pueden rechazarse lotes buenos o pueden aceptarse lotes malos.

Para calcular y tratar de solventar el problema expuesto anteriormente, se utiliza la denominada **curva característica**:

Cada plan de muestreo tiene asociado una **curva característica** que describe la capacidad del plan para discriminar entre lotes buenos y malos.

Es decir, muestra la probabilidad de que el plan acepte lotes de diferentes niveles de calidad.



- Calidad promedio de salida AOQ (Average Output Quality)  
 $AOQ = w \cdot Pa (w)$
- Nivel aceptable de Calidad NAC (AQL, Acceptable Quality Level)  
 Es el número máximo de artículos defectuosos que puede contener un lote para que se considere aceptable. Aceptaremos solo los lotes que tengan este nivel de calidad.
- Nivel tolerable de Defectuosos NTD (LTPD, Lot Tolerance Percent Defective)  
 Es el nivel de calidad de un lote que se considera malo, rechazaremos todos los lotes que tengan este nivel de calidad.

Por tanto, para el productor de los artículos, un buen plan de muestreo es aquel que tiene una baja probabilidad de rechazar lotes buenos:

Riesgo para el productor ( $\alpha$ ): Es la probabilidad de que los lotes sean rechazados aún teniendo un número de defectuosos no superior al especificado por NAC.

Para los clientes o consumidores de los artículos, el plan de muestreo debe tener una baja probabilidad de aceptar lotes malos:

Riesgo del consumidor ( $\beta$ ): Es la probabilidad de que un lote se acepte con un porcentaje de defectuosos no interior al establecido por el NTD.

**NOTA:** La selección de los valores específicos de NAC, NTD,  $\alpha$  y  $\beta$  es una decisión económica basada en costes, en la política de la empresa o en los requerimientos contractuales. Lo decide cada empresa. Normalmente, los planes de muestreo se diseñan con un riesgo del productor del 5% ( $\alpha = 0,05$ ) y un riesgo del consumidor del 10% ( $\beta = 0,10$ )

| Valores de LTD / NAC para: |                                   |                                   |                                   |         |
|----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------|
| c                          | $\alpha = 0,05$<br>$\beta = 0,10$ | $\alpha = 0,05$<br>$\beta = 0,05$ | $\alpha = 0,05$<br>$\beta = 0,01$ | n . NAC |
| 0                          | 44,89                             | 58,404                            | 89,781                            | 0,052   |
| 1                          | 10,946                            | 13,349                            | 18,681                            | 0,355   |
| 2                          | 6,509                             | 7,699                             | 10,28                             | 0,818   |
| 3                          | 4,89                              | 5,675                             | 7,352                             | 1,366   |
| 4                          | 4,057                             | 4,646                             | 5,89                              | 1,97    |
| 5                          | 3,549                             | 4,023                             | 5,017                             | 2,613   |
| 6                          | 3,206                             | 3,604                             | 4,435                             | 3,286   |
| 7                          | 2,957                             | 3,303                             | 4,019                             | 3,981   |
| 8                          | 2,768                             | 3,074                             | 3,707                             | 4,695   |
| 9                          | 2,618                             | 2,895                             | 3,462                             | 5,426   |
| 10                         | 2,497                             | 2,75                              | 3,265                             | 6,169   |
| 11                         | 2,397                             | 2,63                              | 3,104                             | 6,924   |
| 12                         | 2,312                             | 2,528                             | 2,968                             | 7,69    |
| 13                         | 2,24                              | 2,442                             | 2,852                             | 8,464   |
| 14                         | 2,177                             | 2,367                             | 2,752                             | 9,246   |
| 15                         | 2,122                             | 2,302                             | 2,665                             | 10,035  |
| 16                         | 2,073                             | 2,244                             | 2,588                             | 10,831  |
| 17                         | 2,029                             | 2,192                             | 2,52                              | 11,633  |
| 18                         | 1,99                              | 2,145                             | 2,458                             | 12,442  |
| 19                         | 1,954                             | 2,103                             | 2,403                             | 13,254  |
| 20                         | 1,922                             | 2,065                             | 2,352                             | 14,072  |
| 21                         | 1,892                             | 2,03                              | 2,307                             | 14,894  |
| 22                         | 1,865                             | 1,999                             | 2,265                             | 15,719  |
| 23                         | 1,84                              | 1,969                             | 2,226                             | 16,548  |
| 24                         | 1,817                             | 1,942                             | 2,191                             | 17,382  |
| 25                         | 1,795                             | 1,917                             | 2,158                             | 18,218  |

| Valores de LTD / NAC para: |                                   |                                   |                                   |         |
|----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------|
| c                          | $\alpha = 0,01$<br>$\beta = 0,10$ | $\alpha = 0,01$<br>$\beta = 0,05$ | $\alpha = 0,01$<br>$\beta = 0,01$ | n . NAC |
| 0                          | 229,105                           | 298,073                           | 458,21                            | 0,01    |
| 1                          | 26,184                            | 31,933                            | 44,686                            | 0,149   |
| 2                          | 12,206                            | 14,439                            | 19,278                            | 0,436   |
| 3                          | 8,115                             | 9,418                             | 12,202                            | 0,823   |
| 4                          | 6,249                             | 7,156                             | 9,072                             | 1,279   |
| 5                          | 5,192                             | 5,889                             | 7,343                             | 1,785   |
| 6                          | 4,52                              | 5,082                             | 6,253                             | 2,33    |
| 7                          | 4,05                              | 4,524                             | 5,506                             | 2,906   |
| 8                          | 3,705                             | 4,115                             | 4,962                             | 3,507   |
| 9                          | 3,44                              | 3,803                             | 4,548                             | 4,13    |
| 10                         | 3,229                             | 3,555                             | 4,222                             | 4,771   |
| 11                         | 3,058                             | 3,354                             | 3,959                             | 5,428   |
| 12                         | 2,915                             | 3,188                             | 3,742                             | 6,099   |
| 13                         | 2,795                             | 3,047                             | 3,559                             | 6,782   |
| 14                         | 2,692                             | 2,927                             | 3,403                             | 7,477   |
| 15                         | 2,603                             | 2,823                             | 3,269                             | 8,181   |
| 16                         | 2,524                             | 2,732                             | 3,151                             | 8,895   |
| 17                         | 2,455                             | 2,652                             | 3,048                             | 9,616   |
| 18                         | 2,393                             | 2,58                              | 2,956                             | 10,346  |
| 19                         | 2,337                             | 2,516                             | 2,874                             | 11,082  |
| 20                         | 2,287                             | 2,458                             | 2,799                             | 11,825  |
| 21                         | 2,241                             | 2,405                             | 2,733                             | 12,574  |
| 22                         | 2,2                               | 2,357                             | 2,671                             | 13,329  |
| 23                         | 2,162                             | 2,313                             | 2,615                             | 14,088  |
| 24                         | 2,126                             | 2,272                             | 2,564                             | 14,853  |
| 25                         | 2,094                             | 2,235                             | 2,516                             | 15,623  |



## 6.8 Normas y certificación ISO 9000

El organismo internacional de certificación (ISO = International standardization Organization) publicó en 1987 las normas ISO 9000 de aseguramiento de la calidad.

Esta normativa garantiza que una empresa certificada cumple determinados estándares de calidad, demostrable en cualquier país del mundo.

Norma: especificación técnica accesible al público, establecida con la cooperación y el consenso o la aprobación de todas las partes interesadas (fabricantes, consumidores, usuarios y administración) basado en el conjunto de la ciencia, tecnología y la experiencia que tiene como objetivo el beneficio óptimo de la comunidad y que ha estado aprobado por un organismo cualificado a nivel nacional, regional e internacional.

Certificación: La emisión, por parte de un organismo autorizado, de un documento que acredita que un determinado producto o servicio cumple con los requisitos o exigencias definidos por una norma o especificación técnica.

Algunas empresas certificadoras son:

AENOR, BVQI, DNV, LGAI, SGS ICS Ibérica AEIE, Lloyd's Register, ECA...

Pueden certificar tanto productos y servicios, como empresas o personal. El proceso de certificación es el siguiente:

1. Información preliminar.
2. Implantación del sistema de calidad.
3. Solicitud de certificación.
4. Visita previa de representantes de la entidad certificadora.
5. Auditoría del sistema de calidad.
6. Concesión del certificado de registro.
7. Auditorías de seguimiento anuales.
8. Auditorías de renovación.



## TEMA 7: DISEÑO DEL PROCESO PRODUCTIVO Y DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

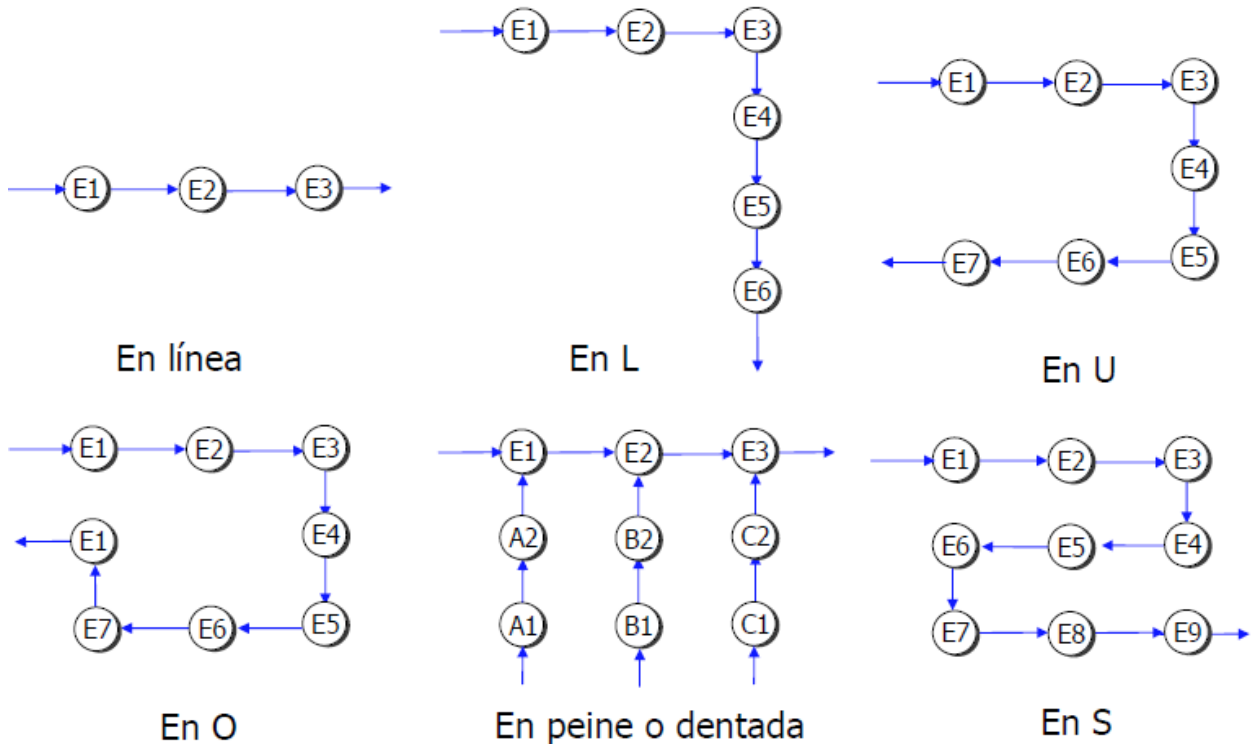
La distribución en planta trata de determinar la mejor disposición de los diferentes elementos que forman el proceso productivo, de manera que se consigan los objetivos fijados de la forma más adecuada y eficiente.

### 7.1 OBJETIVOS DE LA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

- Disminución de la congestión (disminuir inventarios sin acumulaciones).
- Supresión de las áreas ocupadas innecesariamente.
- Reducir las mantenciones (transportes dentro de la planta).
- Reducir el material en proceso.
- Reducción del riesgo para la salud e incremento de la seguridad de los trabajadores.
- Disminuir los riesgos que puedan afectar a los materiales o su calidad.
- Optimizar la utilización de la mano de obra, maquinaria y servicios.
- Disminución de los retrasos y del tiempo de fabricación e incremento de la producción.
- Elevación de la moral y satisfacción del personal-
- Reducción del trabajo administrativo indirecto.
- Mejora de la supervisión y el control.
- Mayor facilidad de ajuste a los cambios de condiciones.

#### Factores a considerar:

- Cómo circulan los materiales:

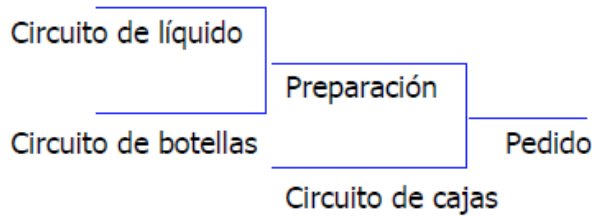


- La cantidad de equipos y sus dimensiones.
- Seguridad de la mano de obra
- Servicios auxiliares.
- Limitaciones del edificio.

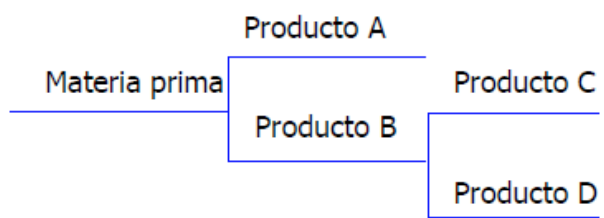
## 7.2 TIPOS DE DISTRIBUCIÓN

### - Según el tipo de industria:

- Industrias monolineales: La fabricación se hace a lo largo de un circuito único, siempre el mismo, que sucesivamente es recorrido por todos los productos. (fábricas de harina, cemento, etc.)
- Industrias sintéticas o convergentes: Las materias primas y los productos semiacabados llegan de diversas procedencias y convergen en la línea final de producción. (Montaje de automóviles, planta de embotellado, etc.)



- Industrias analíticas o divergentes: Se parte de una materia prima que, con el tratamiento, diverge en diferentes líneas particulares de fabricación, dando cada una un producto diferente. (industrias químicas).



- Industrias convergentes-divergentes: Se parte de un cierto número de materias primas para hacer un producto intermedio que luego diverge en diferentes productos finales. (chocolate)

### - Según la organización de la producción:

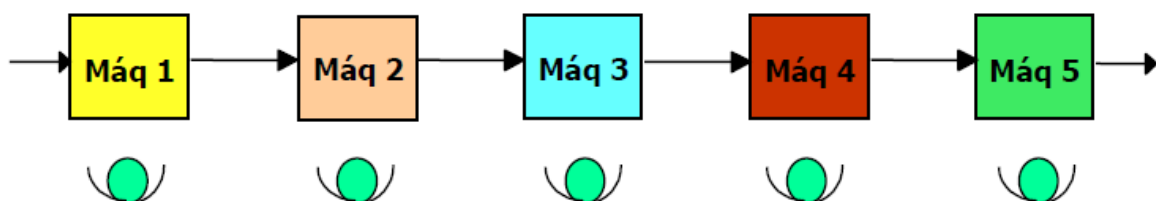
- Distribución en puesto fijo:
  - Para fabricaciones muy pesadas.
  - El producto queda en un emplazamiento fijo. Son las máquinas y los materiales los que convergen hacia él.
  - Ejemplo: Construcciones navales, edificios, etc.
  - Ventajas: Poca manipulación de la unidad principal de montaje.
  - Desventajas: Necesidad de trasladar todos los factores productivos al lugar donde se lleva a cabo la producción y a veces se requiere gran espacio.
- Distribución en cadena: Los puestos de trabajo se colocan uno junto a otro siguiendo el orden en que se efectúan las operaciones.

Ventajas:

- Reducción de los trabajos en curso
- Reducción de los plazos.
- Planificación sencilla

Desventajas:

- Necesidad de grandes series.
- Equilibrado complejo de los puestos de trabajo
- Planificación más rígida.



- Distribución en línea o por productos:

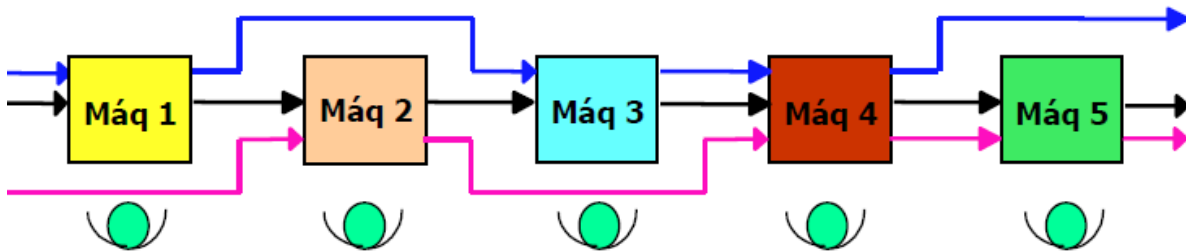
- o Solución de compromiso que permite beneficiar los trabajos unitarios o de pequeñas series con las ventajas del trabajo en cadena.
- o Los puestos de trabajo se distribuyen en cadenas, cada una de las cuales está destinada a la ejecución de una serie de trabajos diversos pero análogos.
- o Requiere clasificación previa de las piezas en familias.
- o Dentro de una familia, las operaciones son realizadas en el mismo orden.
- o Se puede suprimir alguna operación u operaciones para ciertas piezas.
- o Se requiere utillajes que sean cambiados rápidamente.

**Ventajas:**

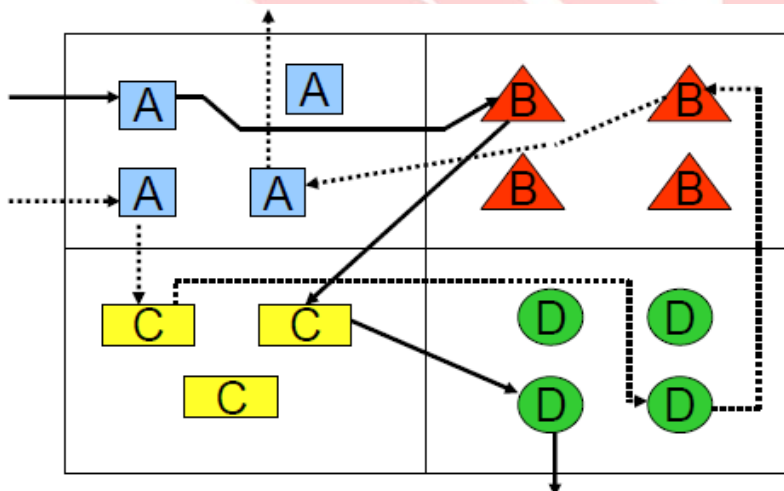
- Poco trabajo en curso (el output de un puesto de trabajo pasa inmediatamente al siguiente)
- Mínimo transporte interno, ya que los puestos de trabajo están muy próximos entre sí.
- Planificación y control de la producción de forma sencilla.
- Los operarios no necesitan ser especializados, con lo que la mano de obra es fácil de formar y sustituir.

**Desventajas:**

- Inflexibilidad ante cambios en el diseño del producto.
- Sistema muy vulnerable a las averías.
- Requiere una elevada inversión.
- El trabajo repetitivo afecta la satisfacción y el rendimiento persona.
- El ritmo para equilibrar la línea viene marcado por el puesto de trabajo más lento.



- Distribución funcional o por procesos: Los puestos de trabajo se agrupan por el tipo de actividad (hospital: quirófano, UCI, cocina, etc.)

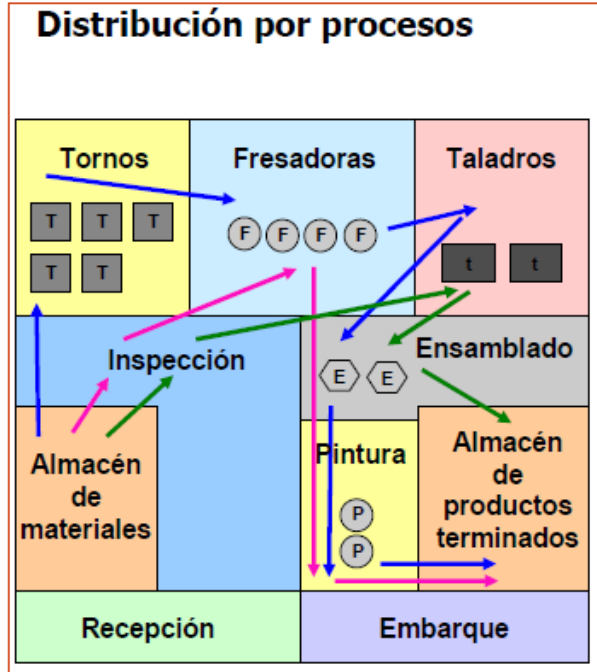
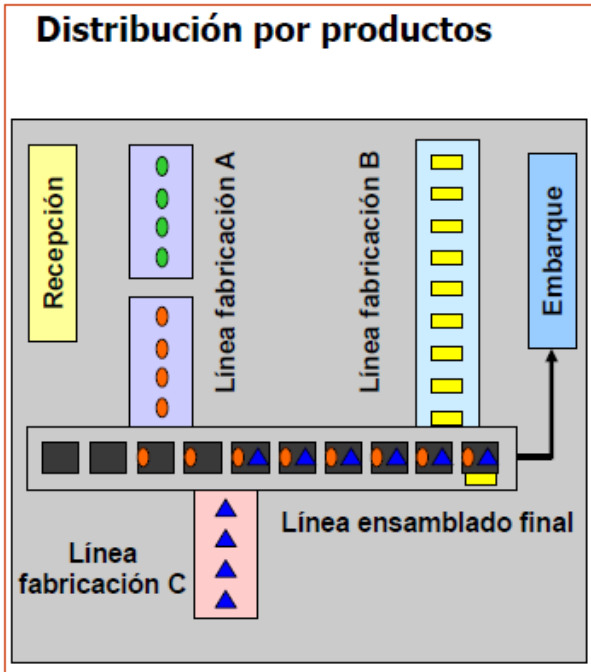


**Ventajas:**

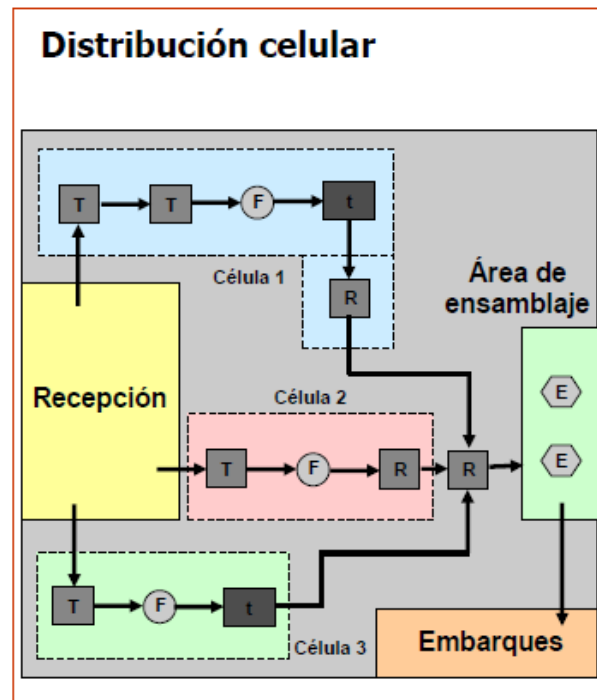
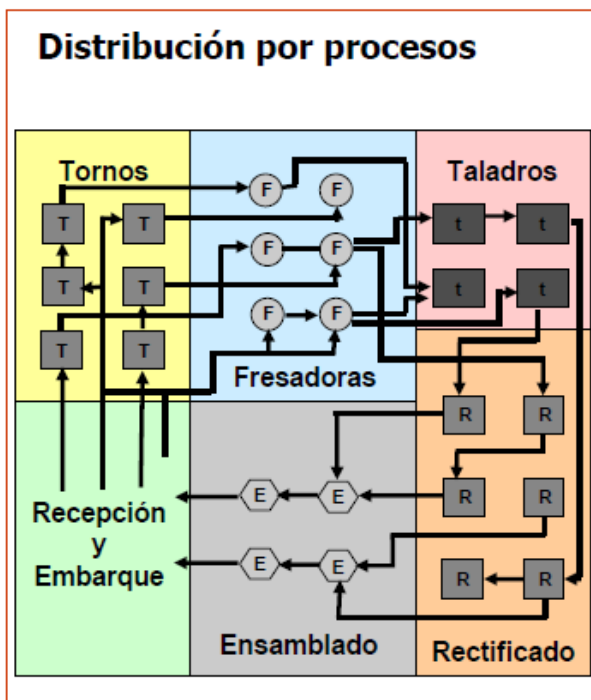
- Flexibilidad en cambios en el producto y/o cantidades.
- Las inversiones en equipos son menores que en el caso anterior.
- Es más fácil mantener el sistema en funcionamiento ante posibles problemas o averías.
- La diversidad de tareas reduce la insatisfacción de los trabajadores..

**Desventajas:**

- Mantenimiento más costoso debido a los largos desplazamientos.
- Es más difícil de planificar y controlar.
- Elevado trabajo en curso.
- Plazos de



- Distribuciones híbridas: Las cédulas de trabajo.
  - o Distribución basada en el producto (eficiente) y distribución basada en el proceso (flexibilidad).
  - o Agrupar personal y maquinaria que normalmente estarían dispersos en diferentes secciones del proceso y formar temporalmente pequeños grupos que se dedican a realizar un único producto o grupo de productos relacionados.





### 7.3 CÁLCULO DE SUPERFICIE

Para cada elemento a distribuir la superficie total se calcula de la siguiente forma:

- SS: Superficie estática, que corresponde a los muebles, máquinas o instalaciones.
- SG: Superficie de Gravitación, es la superficie utilizada alrededor del puesto de trabajo por el empleado y por el material acopiados para las operaciones en curso. Esta superficie se obtiene para cada elemento:

$$SG = SS * N \quad \text{Siendo N el número de lados por los que se accede a la máquina.}$$

- SE: Superficie de Evolución, es la superficie que hay que reservar entre los puestos de trabajo para los desplazamientos del personal y para mantenimiento (pasillos).

$$SE = (SS + SG) * K \quad \text{Siendo K un coeficiente que varía entre 0,05 y 3.}$$

- ST: Superficie total, es la suma de las 3 superficies anteriores.

$$ST = SS + SG + SE$$

**Nota:** Para el cálculo de la superficie destinado a los stocks, no se considera la superficie de gravitación; solo se tienen en cuenta las superficies estática y de evolución.

Ejemplo:

| Elemento     | S <sub>S</sub>           | N | S <sub>G</sub> = S <sub>S</sub> * N | S <sub>S</sub> + S <sub>G</sub> |
|--------------|--------------------------|---|-------------------------------------|---------------------------------|
| A            | 1.2 m <sup>2</sup>       | 1 | 1.2 m <sup>2</sup>                  | 2.4 m <sup>2</sup>              |
| B            | 2.5 m <sup>2</sup>       | 1 | 2.5 m <sup>2</sup>                  | 5 m <sup>2</sup>                |
| C            | 2 m <sup>2</sup>         | 2 | 4 m <sup>2</sup>                    | 6 m <sup>2</sup>                |
| D            | 2 m <sup>2</sup>         | 3 | 6 m <sup>2</sup>                    | 8 m <sup>2</sup>                |
| E            | 2 m <sup>2</sup>         | 2 | 4 m <sup>2</sup>                    | 6 m <sup>2</sup>                |
| <b>Total</b> | <b>9.7 m<sup>2</sup></b> |   | <b>17.7 m<sup>2</sup></b>           | <b>27.4 m<sup>2</sup></b>       |

$$S_E = (S_S + S_G) * K = 27.4 * 2 = 54.8 \text{ m}^2$$

$$S_T = S_S + S_G + S_E = 27.4 + 54.8 = 82.2 \text{ m}^2$$

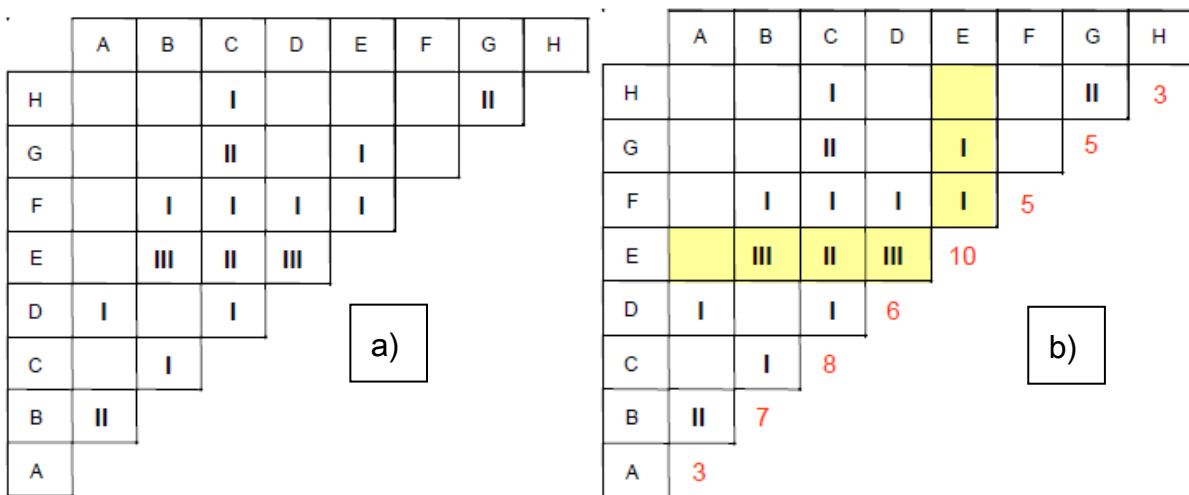
### 7.4 MÉTODO DE LOS ESLABONES

- Para la distribución de puestos de trabajo.
- En un taller, la mejor distribución será la que **minimice las manutenciones** (traslados).
- Eslabón: trayectoria de **manutención** que une entre sí dos puestos de trabajo.

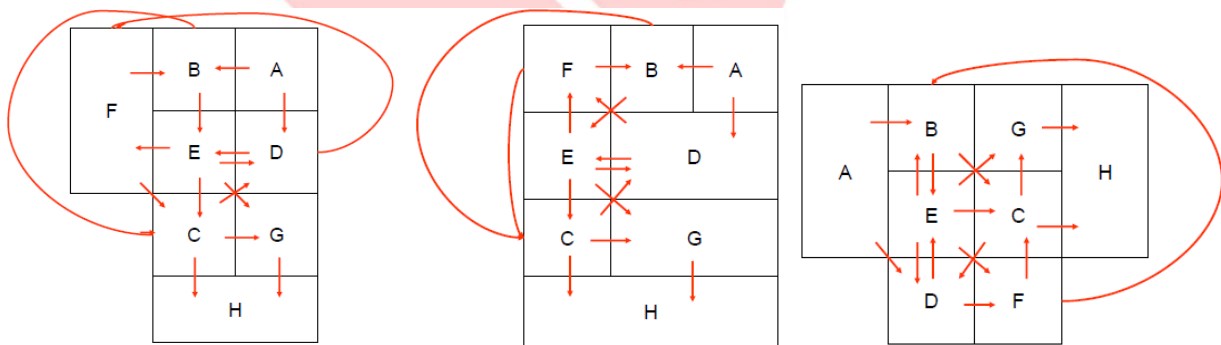
| Puestos de trabajo | A  | B  | C  | D  | E | F | G | H |
|--------------------|----|----|----|----|---|---|---|---|
| Piezas             | P1 | P2 | P3 | P4 |   |   |   |   |

| P1           |           | P2           |           | P3           |           | P4           |           |
|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|
| Puestos suc. | Eslabones | Puestos suc. | Eslabones | Puestos suc. | Eslabones | Puestos suc. | Eslabones |
| A            |           | A            |           | A            |           | B            |           |
| B            | AB        | B            | AB        | D            | AD        | E            | BE        |
| C            | BC        | E            | BE        | E            | DE        | D            | ED        |
| D            | CD        | C            | EC        | F            | EF        | F            | DF        |
| E            | DE        | G            | CG        | B            | FB        | C            | FC        |
| G            | EG        | H            | GH        | E            | BE        | H            | CH        |
| H            | GH        |              |           | C            | EC        |              |           |
|              |           |              |           | G            | CG        |              |           |

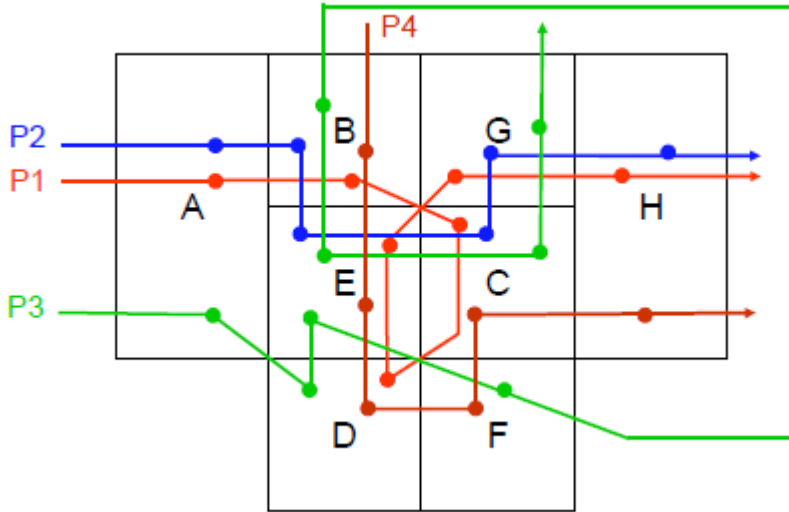
- a) Una vez obtenidas las secuencias de cada línea de producto, rellenamos cada eslabón con un palito por cada operación que se produzca entre dos puestos de trabajo.
- b) Sumamos los palitos verticales y horizontales para cada puesto de trabajo.



Debemos buscar la combinación dentro del taller de trabajo que reduzca al mínimo las **mantenciones**. (líneas rojas)



En el caso del ejemplo, aplicando las diferentes líneas de producción (Caso 3):

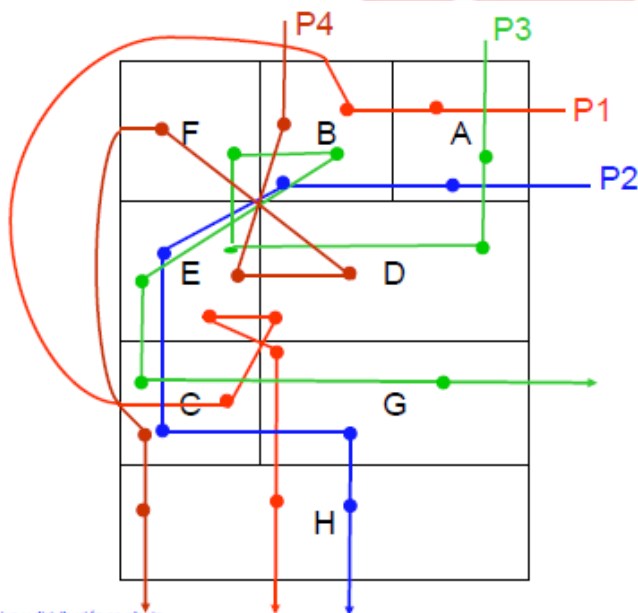


Pero lo que nos importa al fin y al cabo, es conocer la producción necesaria de cada línea, dado que será este dato el que nos ayudará a saber qué línea de producto priorizar en la colocación de los puestos de trabajo.

| Piezas   | P1 | P2 | P3 | P4 |
|----------|----|----|----|----|
| Unidades | 10 | 30 | 15 | 20 |

|   | A  | B  | C  | D  | E  | F | G  | H |
|---|----|----|----|----|----|---|----|---|
| H |    |    | 20 |    |    |   | 10 |   |
| G |    |    | 30 |    | 10 |   |    |   |
| F |    | 15 | 20 | 20 | 15 |   |    |   |
| E |    | 30 | 30 | 10 |    |   |    |   |
| D | 15 |    | 10 |    |    |   |    |   |
| C |    | 10 |    |    |    |   |    |   |
| B | 10 | 30 |    |    |    |   |    |   |
| A |    |    |    |    |    |   |    |   |

|   | A  | B  | C  | D  | E  | F | G  | H   |
|---|----|----|----|----|----|---|----|-----|
| H |    |    | 20 |    |    |   | 10 | 30  |
| G |    |    | 30 |    | 10 |   |    | 95  |
| F |    | 15 | 20 | 20 | 15 |   |    | 70  |
| E |    | 30 | 30 | 10 |    |   |    | 180 |
| D | 15 |    | 10 |    |    |   |    | 90  |
| C |    | 10 |    |    |    |   |    | 150 |
| B | 10 |    |    |    |    |   |    | 130 |
| A |    |    |    |    |    |   |    | 55  |



Ya que las líneas de producto P2 y P4 son las que más producción requieren, priorizaremos la colocación de los puestos de trabajo en base a sus secuencias. La línea P1 es la que menos producción requiere, por tanto la línea tan larga de manutención será la que menos incidencia negativa tenga para el coste.

**NOTA:** El método de los eslabones presenta las siguientes limitaciones.

1. No tiene en cuenta las superficies de los puestos de trabajo.
2. No tiene en cuenta la distribución de la planta de trabajo. (el suelo del taller)
3. No tiene en cuenta la necesidad de poner pasillos, armarios, stocks intermedios, etc.
4. No considera si existen columnas, salidas de aire acondicionado o calefacción...

### 7.5 GAMAS FICTICIAS

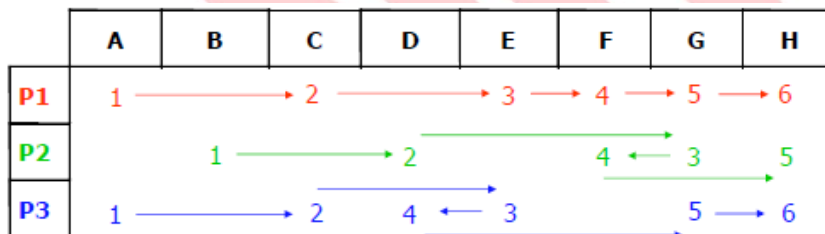
El objetivo de este método es encontrar un determinado orden para los puestos de trabajo que, si bien no ha de coincidir necesariamente con ninguna de estas secuencias, sí se adapte a todas ellas.

La herramienta que utilizaremos para solventar los problemas con las distintas secuencias será la de desdoblar puestos de trabajo, que consiste en repetir un puesto de trabajo, lo que supone un incremento sustancial del coste. Debemos evitar realizar desdoblamiento al máximo posible.

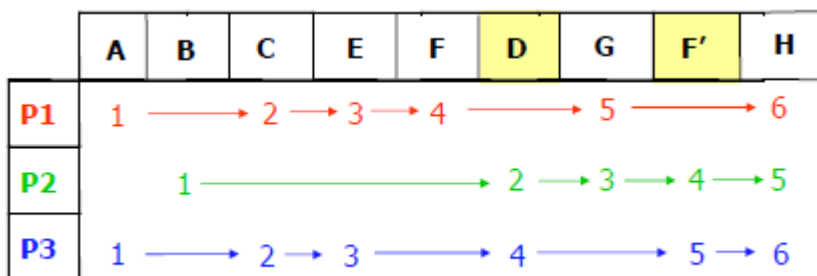
|    | A      | B       | C      | D      | E      | F      | G      | H      |
|----|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| P1 | 1 / 50 |         | 2 / 48 |        | 3 / 50 | 4 / 50 | 5 / 30 | 6 / 50 |
| P2 |        | 1 / 200 |        | 2 / 25 |        | 4 / 46 | 3 / 20 | 5 / 30 |
| P3 | 1/45   |         | 2 / 45 | 4 / 25 | 3 / 50 |        | 5 / 50 | 6 / 20 |

Horas por semana consumidas por cada producto  
Número de orden de la secuencia de fabricación

Límite semanal: 50 horas



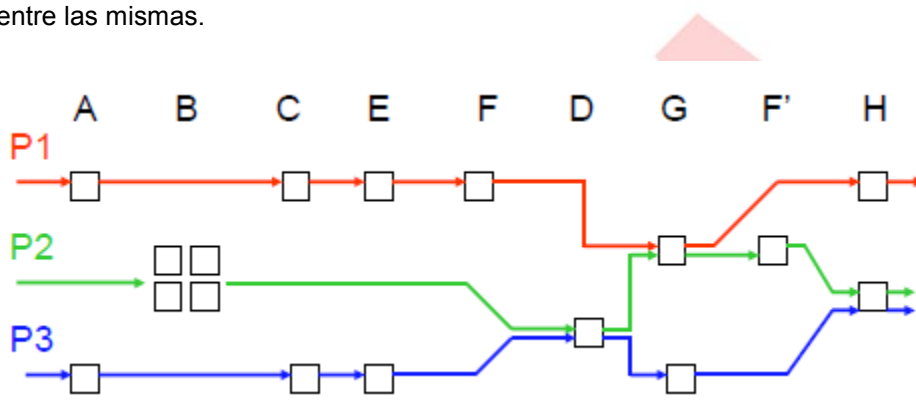
Buscamos una secuencia que permita a todos los procesos realizarse en orden ascendente (sin tener que volver a un puesto de trabajo anterior) y desdoblamos los mínimos puestos de trabajo necesarios.



Calculamos el número de máquinas necesario para cada puesto de trabajo, según el número de horas necesarias en cada uno y el límite que tenga cada puesto.

|     | A      | B       | C      | D      | E      | F      | G      | H      |
|-----|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| P1  | 1 / 50 |         | 2 / 48 |        | 3 / 50 | 4 / 50 | 5 / 30 | 6 / 50 |
| P2  |        | 1 / 200 |        | 2 / 25 |        | 4 / 46 | 3 / 20 | 5 / 30 |
| P3  | 1/45   |         | 2 / 45 | 4 / 25 | 3 / 50 |        | 5 / 50 | 6 / 20 |
| h   | 95     | 200     | 93     | 50     | 100    | 96     | 100    | 100    |
| Máq | 2      | 4       | 2      | 1      | 2      | 2      | 2      | 2      |

Finalmente dibujamos la secuenciación de cada línea de producto, impidiendo que se produzcan cruces entre las mismas.



## 7.6 DISTRIBUCIÓN EN PLANTA DE SERVICIOS

### Particularidades:

- Trato más directo con el cliente.
- Búsqueda de satisfacción y comodidad del cliente.
- Apariencia atractiva de las áreas de contacto con el cliente.
- No existen previsiones de cargas de trabajo.
- No existe programación de actividades.

### 1. Distribución de oficinas:

El material trasladado entre departamentos y puestos de trabajo, es casi exclusivamente información que se realiza a través de:

- Conversaciones individuales cara a cara.
- Conversaciones individuales por teléfono y/o ordenador.
- Correo y otros documentos físicos.
- Correo electrónico.
- Reuniones y grupos de discusión.
- Interfonos.

La distribución viene dictada por el movimiento de trabajadores y documentos en soporte físico. Dependerá del área total existente, de su forma, del proceso que se desarrolla y de las relaciones que tienen que suceder entre los trabajadores.

## 2. Distribución de Comercios:

El objetivo es maximizar el beneficio neto por metro cuadrado de estanterías. Dado su coste la superficie de venta y almacenamiento deben aprovecharse al máximo.

- Colocar los productos de consumo diario alrededor de la periferia.
- Colocar en lugares prominentes los productos de compra compulsiva.
- Suprimir pasillos que permitan pasar de una a otra calle sin recorrerlas completamente.
- Distribuir los productos reclamo a ambos lados de la calle.
- Usar como expositores los finales de las calles.
- Transmitir la imagen mediante una adecuada selección en la primera calle que se accede.

Si se acepta la hipótesis de que las ventas varían directamente con la exposición de productos al cliente, el objetivo de la distribución se traducirá en exponer a la clientela tantos productos como sea posible en el espacio disponible.

## 3. Distribución de Almacenes:

El objetivo es encontrar la relación óptima entre el coste de manejo de materiales y el espacio de almacenamiento. Son aspectos fundamentales a considerar:

- La utilización del espacio cúbico.
- Los equipos y métodos de almacenamiento.
- La protección de los materiales.
- La localización de los materiales.

El desarrollo informático ha permitido que el problema de localización de los artículos en un almacén se ve considerablemente disminuido. Estos pueden colocarse de forma dispersa, aprovechando, cuando sea necesario, el primer espacio disponible y realizando la búsqueda posterior a través del ordenador, pudiéndose incluso optimizar las rutas de recogida, si esto fuera necesario.

## TEMA 8. DISEÑO DE LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN POR PRODUCTO: EL EQUILIBRADO DE LÍNEAS

### 8.1 EQUILIBRADO DE PUESTOS DE TRABAJO:

En la producción en línea los puestos de trabajo se colocan uno al lado del otro siguiendo el orden de las operaciones y el producto va pasando progresivamente por ellos. Un puesto de trabajo que requiere más tiempo que el resto actúa de freno para los otros que han de esperar que finalice para poder actuar y ello provoca la aparición de tiempo ocioso.

Para evitarlo se utiliza el equilibrado de líneas que consiste en intentar que todas las estaciones de trabajo tengan, aproximadamente, la misma carga de trabajo con el fin de minimizar los tiempos ociosos.

#### Definiciones

- Elemento de trabajo: Mayor unidad de trabajo que no puede dividirse entre dos o más operarios sin crear una interferencia innecesaria entre los mismos.
- Puesto de trabajo: Área adyacente a la línea de ensamble, donde se ejecuta una cantidad dada de trabajo (una operación). Usualmente está a cargo de un operario, aunque puede estar ocupado por más de uno.
- Operación: Conjunto de elementos de trabajo asignados a un puesto de trabajo.
- Balance de línea: Asignación de elementos de trabajo a los puestos de trabajo.
- Tiempo de ciclo: Tiempo máximo de permanencia del producto en cada estación de trabajo. También es el tiempo que pasa entre la finalización de un producto y el siguiente. Por tanto, es el **tiempo promedio utilizado en producir un producto**.
- Retardo en el equilibrio o demora de balances: Cantidad total de tiempo ocioso en la línea, que resulta de una división desigual de los puestos de trabajo.

### 8.2 DEFINICIÓN DE TAREAS, CAPACIDAD Y TIEMPO DE CICLO

1. Se comienza descomponiendo el trabajo en tareas o unidades más pequeñas que puedan ser realizadas de forma independiente.
  - a. Tiempo de ciclo mínimo: vendrá dado por la duración de la actividad más larga.
  - b. Tiempo de ciclo máximo: será el tiempo requerido para ejecutar el proceso, es decir la suma de los tiempos de todas las estaciones de trabajo. Si conocemos la producción deseada por unidad de tiempo (Q), el tiempo de ciclo nos viene dado por:

$$T_c \text{ (minutos/unidad)} = \frac{60 \text{ (minutos/hora)}}{Q \text{ (unidades/hora)}}$$

2. Capacidad en línea y cálculo del tiempo de ciclo:

Consideremos ahora un ejemplo de un producto en cuyo ensamble se usan varios componentes. Supongamos que los trabajos de montaje han sido divididos en 10 elementos básicos de trabajo (a..j) con los tiempos de duración que se muestran en la siguiente tabla:

| Elementos de trabajo y duración |   |    |   |   |   |   |    |   |   |   |
|---------------------------------|---|----|---|---|---|---|----|---|---|---|
| Elemento de trabajo             | a | b  | c | d | e | f | g  | h | i | j |
| Duración                        | 5 | 10 | 5 | 2 | 7 | 5 | 10 | 2 | 5 | 7 |

El tiempo de ciclo mínimo será de 10 minutos, ya que los elementos de trabajo b) y g) necesitan esos minutos para su ejecución. El tiempo máximo del ciclo será la suma de los tiempos de duración de todas las estaciones de trabajo, 58 minutos en nuestro ejemplo.



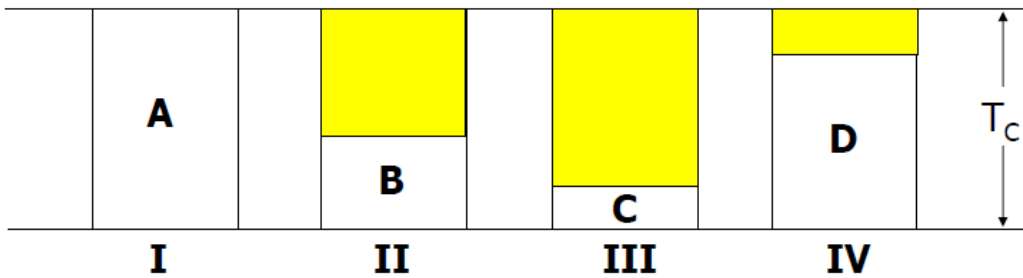
3. Número mínimo de estaciones de trabajo necesarias.

Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$N^{\circ} \text{ m\u00ednimo de estaciones de trabajo} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{T_c} \rightarrow \text{M\u00ednimo imprescindible}$$

Cuando el resultado no es un n\u00famero entero, deber\u00e1 realizarse un ajuste por exceso. El n\u00famero resultante es el m\u00ednimo imprescindible, lo que no impide que en la pr\u00e1ctica se utilicen m\u00e1s estaciones de trabajo si ello es necesario para hacer frente a la producci\u00f3n.

4. C\u00e1lculo del tiempo ocioso:



El tiempo ocioso se obtiene de la diferencia entre el tiempo total realmente utilizado menos el tiempo requerido te\u00f3ricamente para obtener una unidad de producto.

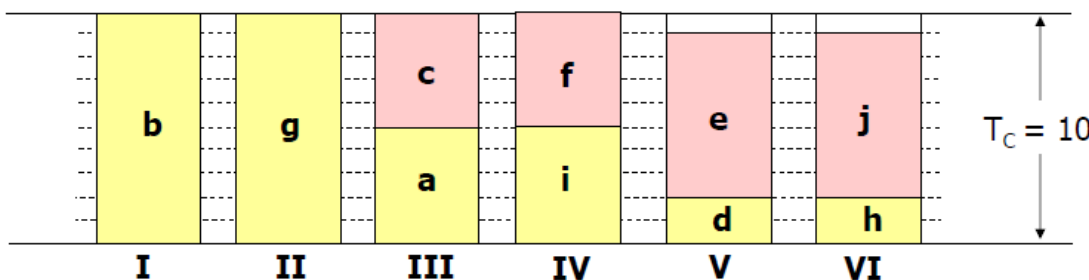
$$T_o = N * T_c - \sum_{i=1}^n t_i \rightarrow T_o = T. \text{ Real} - T. \text{ Te\u00f3rico}$$

Ejemplo: Agrupaci\u00f3n libre de los 10 elementos. Tiempo de ciclo 10 minutos.

$$N = \frac{58}{10} = 5,8 \Rightarrow 6 \text{ estaciones de trabajo}$$

Diez elementos agrupados en seis operaciones

| Operaci\u00f3n | Elementos de trabajo | Suma de tiempos de duraci\u00f3n |
|----------------|----------------------|----------------------------------|
| <b>I</b>       | b                    | 10                               |
| <b>II</b>      | g                    | 10                               |
| <b>III</b>     | a, c                 | 10                               |
| <b>IV</b>      | f, i                 | 10                               |
| <b>V</b>       | d, e                 | 9                                |
| <b>VI</b>      | h, j                 | 9                                |
|                |                      | <b>58</b>                        |





$$Q \text{ (producción)} = \frac{60}{T_c} = \frac{60}{10} = 6 \text{ unidades/hora}$$

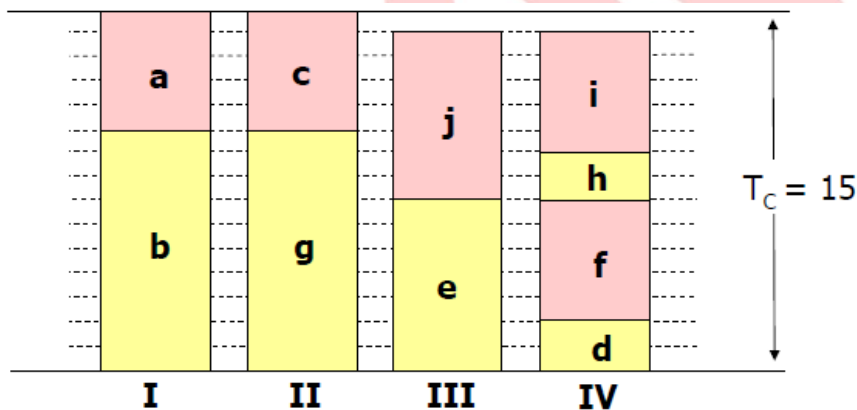
TIEMPO OCIOSO = 60 – 58 = 2 MINUTOS

**Ejercicio:** Hallar la agrupación libre de los diez elementos del ejemplo anterior para un tiempo de Ciclo de 15 y 12 minutos.

Tiempo de ciclo de 15 minutos:

$$N = \frac{58}{15} = 3,87 \Rightarrow 4 \text{ estaciones de trabajo}$$

| Operación  | Elementos de trabajo | Suma de tiempos de duración |
|------------|----------------------|-----------------------------|
| <b>I</b>   | a, b                 | 15                          |
| <b>II</b>  | c, g                 | 15                          |
| <b>III</b> | e, j                 | 14                          |
| <b>IV</b>  | d, f, h, i           | 14                          |
|            |                      | <b>58</b>                   |



$$Q \text{ (producción)} = \frac{60}{T_c} = \frac{60}{15} = 4 \text{ unidades/hora}$$

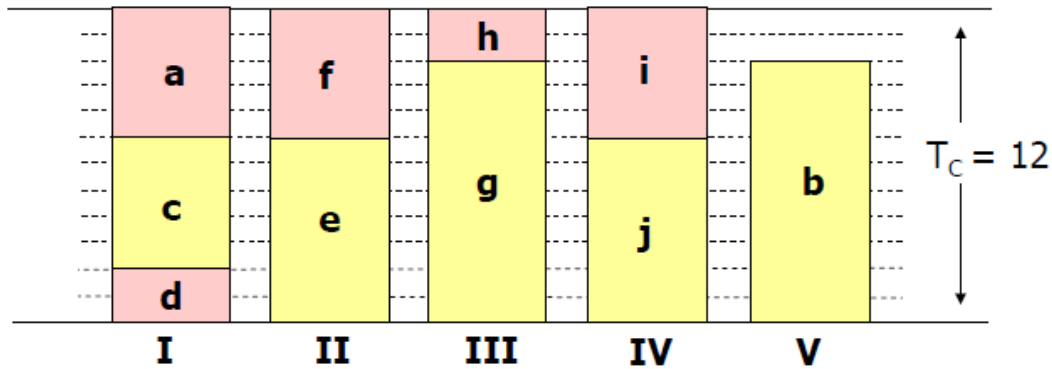
T.O = 60 – 58 = 2 Minutos

Tiempo de ciclo de 12 minutos:

$$N = \frac{58}{12} = 4,83 \Rightarrow 5 \text{ estaciones de trabajo}$$

Diez elementos agrupados en cinco operaciones

| Operación  | Elementos de trabajo | Suma de tiempos de duración |
|------------|----------------------|-----------------------------|
| <b>I</b>   | a, c, d              | 12                          |
| <b>II</b>  | e, f                 | 12                          |
| <b>III</b> | g, h                 | 12                          |
| <b>IV</b>  | i, j                 | 12                          |
| <b>V</b>   | b                    | 10                          |
|            |                      | <b>58</b>                   |

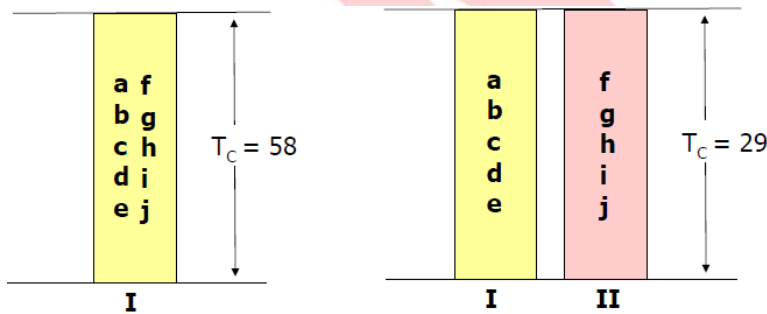


$$Q \text{ (producción)} = \frac{60}{T_c} = \frac{60}{12} = 5 \text{ unidades/hora}$$

$$\text{Tiempo Ocioso} = 60 - 58 = 2 \text{ MINUTOS}$$

**NOTA:** Existen dos posibles soluciones sin tiempo ocioso.

- a) Combinando los 10 elementos en una sola operación de 58 minutos.
- b) Agrupando cinco elementos en dos operaciones con 29 minutos de ciclo.



En ambos casos, al aumentar el tiempo de ciclo, la producción/hora se vería reducida.

### 8.3 CÁLCULO DE LA PRODUCCIÓN ANUAL

Consideramos solo un turno de trabajo, si finalmente se realizan más turnos, multiplicaremos la producción anual por el total de turnos de trabajo.

Para el ejemplo anterior:

**TC = 10 minutos**

$$Q \text{ (producción)} = \frac{60}{T_c} = \frac{60}{10} = 6 \text{ unidades/hora}$$

**PRODUCCIÓN ANUAL** = 6 Unidades/hora x 8 horas día x 250 días/año = 12.000 unidades/año

**TC = 15 minutos**

$$Q \text{ (producción)} = \frac{60}{T_c} = \frac{60}{15} = 4 \text{ unidades/hora}$$

**PRODUCCIÓN ANUAL** = 4 Unidades/hora x 8 horas día x 250 días/año = 8.000 unidades/año

### 8.4 TIEMPO DE CICLO MÁS ADECUADO

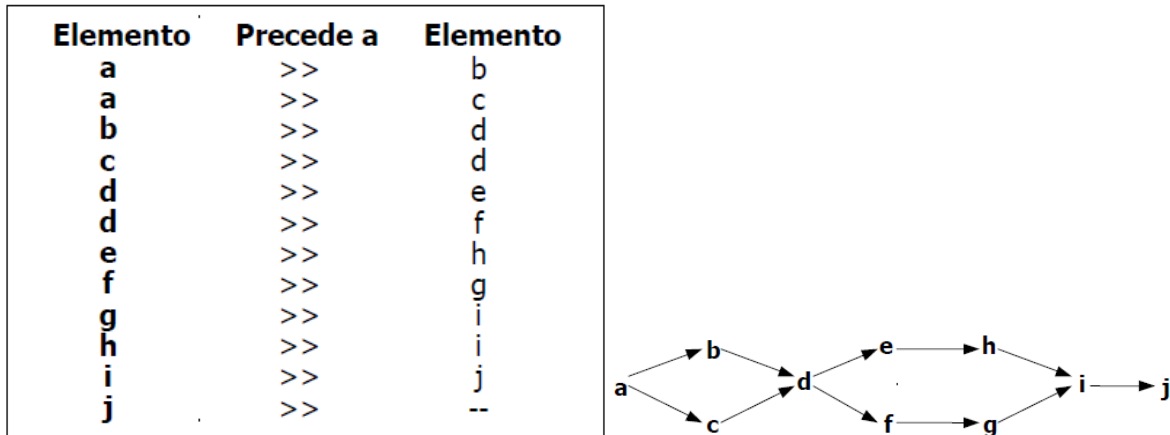
Para saber que tiempo de ciclo es el más adecuado no basta con calcular el que mayor producción anual proporciona, debemos ver cuál cubre mejor la demanda de mercado.

Ejemplo:

| Demanda anual  | Soluciones posibles |                  |                  |
|----------------|---------------------|------------------|------------------|
|                | Tiempo de ciclo     | Número de turnos | Número de líneas |
| <b>16.000</b>  | 15                  | 2                | 1                |
|                | 15                  | 1                | 2                |
| <b>24.000</b>  | 10                  | 2                | 1                |
|                | 10                  | 1                | 2                |
|                | 15                  | 3                | 1                |
|                | 15                  | 1                | 3                |
| <b>360.000</b> | 10                  | 3                | 10               |
| <b>20.000</b>  | 10 y 15             | 1                | 1 y 1            |

## 8.5 IDENTIFICACIÓN DE LAS TAREAS PRECEDENTES

Se identifican las actividades precedentes, es decir aquellas que han de ser realizadas para que la tarea en cuestión pueda iniciarse. Esta ordenación queda recogida en el denominado Diagrama de Precedencias.



Una vez identificadas las tareas precedentes, se puede realizar la **Asignación de tareas**. Para que una tarea pueda ser asignada en una determinada estación de trabajo tiene que cumplir las siguientes condiciones:

- No debe estar asignada previamente a ninguna estación.
- Todas las tareas precedentes han debido ser asignada a esta o a otra estación previa.
- La suma de los tiempos de ejecución de todas las tareas asignadas a una misma estación no puede superar el tiempo de ciclo.

Además, existen dos reglas de selección de tareas:

- Regla de la máxima tarea sucesiva. Seleccionando las que tengan mayor tiempo de ejecución y dejando las actividades más cortas para un ajuste más preciso.
- Método de la técnica de ordenación de las posiciones ponderadas (Hegelson y Birnie). Para cada tarea se suman los tiempos de ejecución de la tarea y de todas las actividades posteriores a la misma y se selecciona la que presente un total superior.

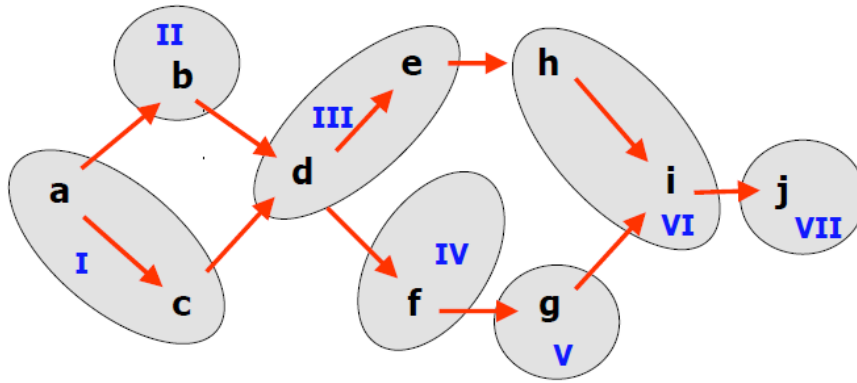
## 8.6 AGRUPACIÓN MEDIANTE RELACIONES DE PRECEDENCIA

Tomamos uno de los 12 posibles ordenamientos (a, b, c, d, e, f, g, h, i, j) y un tiempo de ciclo de 10 minutos.

La agrupación de elementos se muestra en la siguiente tabla:

**Balance de los elementos de trabajo con un tiempo ciclo de 10 minutos**

| Operación | Elementos | Suma tiempo de elementos | Tiempo ocioso |
|-----------|-----------|--------------------------|---------------|
| I         | a, c      | 10                       | 0             |
| II        | b         | 10                       | 0             |
| III       | d, e      | 9                        | 1             |
| IV        | f         | 5                        | 5             |
| V         | g         | 10                       | 0             |
| VI        | h, i      | 7                        | 3             |
| VII       | j         | 7                        | 3             |
|           |           | <b>58</b>                | <b>12</b>     |



### 8.7 CÁLCULO DE LA EFICIENCIA

Equilibrio perfecto:  $N * T_C - \sum_{i=1}^n t_i = 0$

Eficiencia máxima:  $e_{max} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{N * T_C}$   
 Número mínimo de estaciones de trabajo.

Eficiencia real:  $e_{real} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{M * T_C}$   
 M: Número real de estaciones de trabajo.

### 8.8 TÉCNICA DE ORDENACIÓN DE LAS POSICIONES PONDERADAS

#### Método de Hegeson y Birnie

- 1) Determinar el peso de posición de cada elemento sumando el tiempo de duración (ti) de ese elemento y el de todos los que deben seguirle en el diagrama de precedencias hasta el final del proceso.

En nuestro ejemplo:

#### Ponderaciones de posición de los elementos de trabajo

| Elemento i                      | a  | b  | c  | d  | e  | f  | g  | h  | i  | j |
|---------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|
| Tiempo duración en minutos (ti) | 5  | 10 | 5  | 2  | 7  | 5  | 10 | 2  | 5  | 7 |
| Ponderación de posición (Wi)    | 58 | 48 | 43 | 38 | 21 | 27 | 22 | 14 | 12 | 7 |

- 2) Situamos los elementos de trabajo en orden decreciente de acuerdo con sus pesos (o ponderaciones) de posición en la tabla.

**Reordenación de los elementos**

| Elemento i                                   | a  | b  | c  | d    | f  | g  | e  | h  | i    | j |
|--|----|----|----|------|----|----|----|----|------|---|
| Tiempo duración en minutos (t <sub>i</sub> ) | 5  | 10 | 5  | 2    | 5  | 10 | 7  | 2  | 5    | 7 |
| Ponderación de posición (W <sub>i</sub> )    | 58 | 48 | 43 | 38   | 27 | 22 | 21 | 14 | 12   | 7 |
| Elemento(s) precedente(s)                    | -  | a  | a  | b, c | d  | f  | d  | e  | g, h | i |

- 3) Especificar el tiempo de ciclo. En nuestro caso, T<sub>c</sub> = 10 minutos.
- 4) Agrupamos los diferentes elementos de trabajo en operaciones, teniendo en cuenta que ninguna operación puede exceder el tiempo de ciclo y que deben respetarse las relaciones de precedencia entre elementos. En cada operación agrupamos los elementos en orden decreciente a sus ponderaciones de posición (W). Repetimos el proceso hasta que todos los elementos hayan sido asignados a alguna operación.

**Balance inicial con 10 elementos y tiempo de ciclo de 10 minutos**

| Operación  | Elementos | Σ t <sub>i</sub> | Tiempo ocioso |
|------------|-----------|------------------|---------------|
| <b>I</b>   | a, c      | 5 + 5 = 10       | 0             |
| <b>II</b>  | b         | 10               | 0             |
| <b>III</b> | d, f      | 2 + 5 = 7        | 3             |
| <b>IV</b>  | g         | 10               | 0             |
| <b>V</b>   | e, h      | 7 + 2 = 9        | 1             |
| <b>VI</b>  | i         | 5                | 5             |
| <b>VII</b> | j         | 7                | 3             |
|            |           |                  | <b>12</b>     |

- 5) Computamos la eficiencia máxima posible:

$$e_{max} = \frac{58}{6 \times 10} = 0,966$$

- 6) Computamos la eficiencia del balance posible obtenido en el paso 4º

$$e_{real} = \frac{58}{7 \times 10} = 0,83$$

- 7) Si  $e_{real} < e_{max}$ , tratamos de reagrupar ciertos elementos, fijándonos primero en aquellas operaciones con mayores tiempos ociosos y siempre que la nueva reagrupación nos conduzca a un mejor balance (respetando las relaciones de precedencia).

**Cadencia de producción y recursos necesarios:**

Utilizando el mismo ejemplo:

Cadencia de producción = 12.000 unidades por turno

Tiempo de ciclo = 10 min. Cada hora se producen 6 artículos (60/10)

1 turno = 8 horas. Cada turno se producen 48 artículos (6x8)

Días laborables = 250. Cada año se producen 12.000 artículos (48x250)

**Recursos necesarios.**

Si asignamos un operario a cada puesto de trabajo se necesitarán 7 personas.

1 turno = 8 horas. Cada día disponemos de 56 horas (7x8)

Días Laborables = 250. Cada año disponemos de 14.000 horas (56x250)

Horas productivas reales = 11.600 => 12.000 (unidades producidas) (56x250) (suma de minutos de los tiempos de los elementos / minutos que tiene una hora)

Por tanto, como disponemos de 14.000 horas y solo son productivas 11.600, las restantes 2.400 son tiempo ocioso desperdiciado.

NOVA



## 8.9 CASO PRÁCTICO

- Una pieza debe montarse en una cadena que se ha descompuesto en 11 elementos de trabajo, cuyos tiempos de duración (minutos) y relaciones de precedencia se expresan en la tabla:
- Las características de la pieza exigen que existan por lo menos 5 estaciones de trabajo en la cadena de montaje. La empresa que monta la pieza dispone de dos cadenas y no entra en sus planes ampliar dicho número.
- La empresa debe satisfacer una demanda anual de la pieza de 54.000 unidades, de forma regular. La jornada anual por turno de trabajo es de 1.800 horas.

| Elemento de trabajo | Elemento predecesor | Tiempo de duración |
|---------------------|---------------------|--------------------|
| <b>1</b>            | -                   | 6                  |
| <b>2</b>            | 1                   | 2                  |
| <b>3</b>            | 1                   | 5                  |
| <b>4</b>            | 1                   | 7                  |
| <b>5</b>            | 1                   | 1                  |
| <b>6</b>            | 2                   | 2                  |
| <b>7</b>            | 3, 4 y 5            | 3                  |
| <b>8</b>            | 6                   | 6                  |
| <b>9</b>            | 7                   | 5                  |
| <b>10</b>           | 8                   | 5                  |
| <b>11</b>           | 9 y 10              | 4                  |

1. Establecer el programa de trabajo más adecuado en el supuesto de que la empresa no desee realizar horas extras más que para recuperar el tiempo de averías.
2. Hallar el equilibrado de la cadena si el tiempo de ciclo fuese de 10 minutos, utilizando el método de Hegelson y Birnie (o de las posiciones ponderadas)
3. Calcular la eficiencia máxima y la real para el apartado anterior.

¿Sería aconsejable mejorar el equilibrado? En caso afirmativo, ¿Cuál propones?



## TEMA 9: JUST IN TIME

¿Cómo se puede explicar el éxito japonés?

- Contratación selectiva de personal.
- Políticas de producción y evaluación por antigüedad y variación.
- Sistema de rotación de los puestos de trabajo: El director de la empresa japonesa ha pasado por todos los puestos de trabajo.
- Sistema de toma de decisiones compartida.
- Equipos de producción no sobrecargados.
- Centros de trabajo limpios y ordenados.
- **Ausencia casi total de inventarios en las plantas.**
- Motivación del personal.
- Nivel máximo de calidad.
- Estrecha relación con los proveedores.

### 9.1 OBJETIVOS DEL JUST IN TIME (JIT)

El objetivo fundamental es aumentar el beneficio mediante la reducción de costes, a través del aprovechamiento máximo de los recursos de que dispone la empresa.

- Eliminación de costes innecesarios.
- La producción debe, de forma flexible y temprana, adaptarse a los cambios de la demanda del mercado, sin que se produzcan desfases.

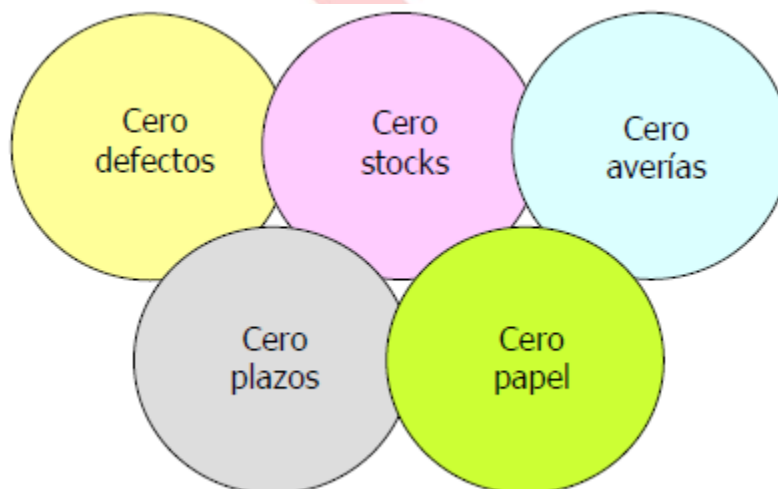
El nuevo enfoque en la dirección de operaciones pretende:

- Que los clientes sean servidos justo en el momento preciso.
- Exactamente la cantidad requerida.
- Con productos de máxima calidad.
- Mediante un proceso de producción que utilice el mínimo inventario posible y que se encuentre libre de cualquier despilfarro o coste innecesario.

Es una filosofía de fabricación que se basa en mantener nivel de stocks en 0.

### 9.2 ESTRATEGIAS BÁSICAS

- Eliminación de todas las funciones innecesarias en las operaciones industriales.
- Producir el tipo de elementos que se necesitan en el momento preciso y las cantidades requeridas.

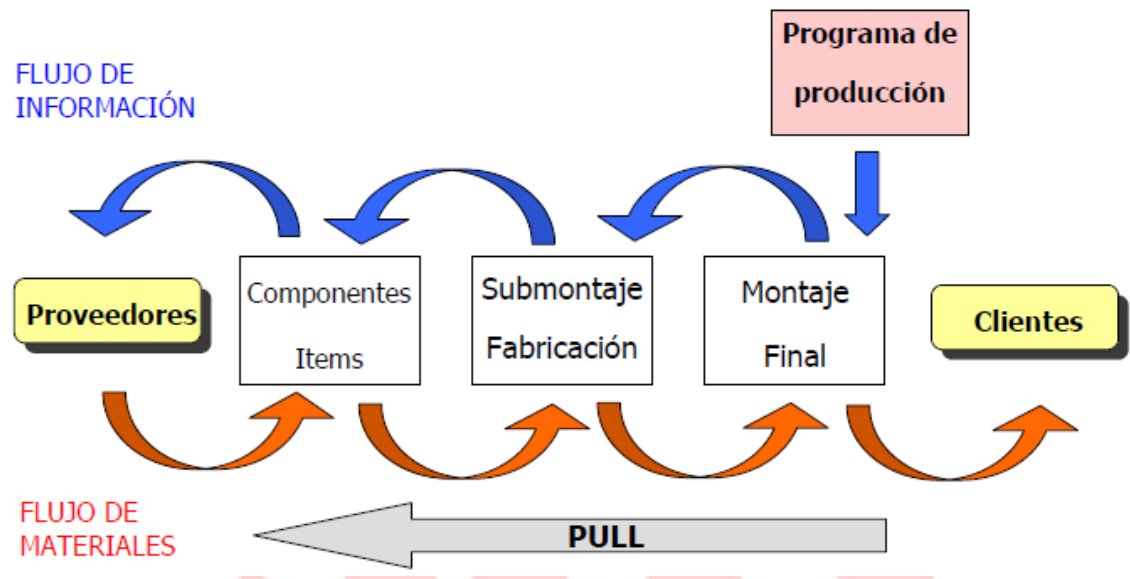


### 9.3 HERRAMIENTAS BÁSICAS

#### 1. Nivelado de la producción.

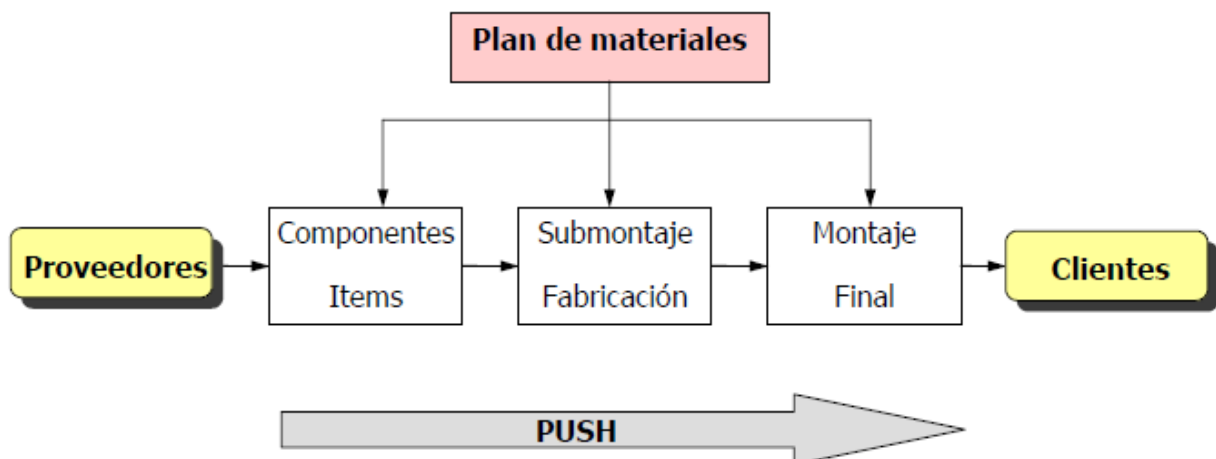
- Algunos procesos productivos trabajan con cantidades o intervalos de tiempo irregulares  
-> mantener inventarios.
- Minimizar los desperdicios.
- Enfoque jerárquico:
  - i. Programa Maestro de producción.
  - ii. Plan de materiales.
  - iii. Programa de montaje final.
- Tasa media diaria de fabricación.

#### Sistema PULL



Cuando la demanda del producto determina cuánto producir. Los tamaños de producción son pequeños, se generan bajos costes por inventarios y un bajo riesgo por obsolescencia del producto. Este enfoque es conveniente cuando se compite por innovación y flexibilidad; su implantación requiere de información rápida desde los puntos de venta, así como de un sistema de producción rápido y flexible. Las desventajas de este enfoque son la necesidad de tener capacidad para los periodos de demanda elevada, menores economías de escala y transporte. El enfoque PULL se asocia con los sistemas Just In Time (JIT) y es considerado un sistema flexible.

#### Sistema PUSH



Cuando la planificación empuja a la producción, los tamaños de las órdenes de producción se basan en pronósticos de medio y largo plazo, por lo que generalmente son grandes, variables y generan altos inventarios, cuyo coste se compensa por las economías de escala del producto. Este enfoque es conveniente cuando la fabricación del producto enfrenta importantes economías de escala y, en particular, cuando la demanda es estacional y se aplica la estrategia de mantener inventarios para no tener que aumentar la capacidad productiva.


El riesgo del enfoque PUSH se basa en la ocurrencia de cambios radicales en los patrones de demanda, que hacen obsoleto el producto en inventario, por lo que este enfoque está recomendado en casos de bienes poco diferenciados o cuando existen contratos de suministro que aseguran la venta del producto. El enfoque PUSH se asocia con los sistemas MRP (Material Requirement Planning) y es considerado como un sistema rígido.

**2. Sistema Kanban**

Es un sistema de arrastre (pull) basado en la utilización de una serie de tarjetas que dirigen y controlan la producción en los diferentes centros de trabajo. Es necesario:


- Diagrama de flujos.
- Almacenes.
- Que cada ítem tenga su buzón.

Sistema Kanban de transporte.

|  |                    |                    |
|--|--------------------|--------------------|
| CÓDIGO ITEM:   |                    |                    |
| <br><b>7700730779</b> |                    |                    |
| DESCRIPCIÓN:   |                    |                    |
| <b>ÁRBOL PRIMARIO</b>  |                    |                    |
| CAPACIDAD CONTENEDOR:  | NÚMERO DE ORDEN:   | TARJETAS EMITIDAS: |
| <b>160</b>   | <b>4</b>           | <b>5</b>           |
| ORÍGEN:  | DESTINO:           |                    |
| CENTRO DE TRABAJO:   | CENTRO DE TRABAJO: |                    |
| <b>TRATAMIENTOS<br/>TÉRMICOS</b>   | <b>RECTIFICADO</b> |                    |
| PUNTO DE RECOGIDA:   | PUNTO DE DEPÓSITO: |                    |
| <b>581</b>   | <b>238</b>         |                    |
| <b>KANBAN DE<br/>TRANSPORTE</b>  |                    |                    |

- Información Necesaria:

  - Identificación del ítem transportado: código y descripción
  - Capacidad del contenedor.
  - Número de orden de la tarjeta y número de tarjetas emitidas.
  - Origen de la pieza: proceso y punto de recogida.
  - Destino: centro de trabajo y punto de depósito

|                              |                       |   |
|------------------------------|-----------------------|---|
| CÓDIGO ITEM:                 |                       |  |
| <b>7700730779</b>            |                       |   |
| DESCRIPCIÓN:                 |                       |   |
| <b>ÁRBOL PRIMARIO</b>        |                       |   |
| CENTRO DE TRABAJO:           |                       |   |
| <b>TRATAMIENTOS TÉRMICOS</b> |                       |   |
| PUNTO DE DEPÓSITO:           | CAPACIDAD CONTENEDOR: |   |
| <b>581</b>                   | <b>160</b>            |   |
| COMPONENTES:                 |                       |   |
| CÓDIGO ITEM:                 | PUNTO DE RECOGIDA:    |   |
| <b>770073771</b>             | <b>141</b>            |   |
| CÓDIGO ITEM:                 | PUNTO DE RECOGIDA:    |   |
| <b>770073769</b>             | <b>142</b>            |   |
| <b>KANBAN DE PRODUCCIÓN</b>  |                       |   |

- Información Necesaria:
- Identificación del ítem transportado: código y descripción
  - Identificación del centro de trabajo donde se fabrica el ítem y el lugar de depósito de los ítems ya elaborados.
  - Capacidad del contenedor.
  - Identificación de los componentes necesarios: códigos y puntos de recogida.

Ventajas de la utilización del Sistema Kanban:

- Las órdenes de fabricación son siempre las mismas tarjetas.
- Cada operario solo puede fabricar las piezas retiradas por el proceso posterior, por lo que la fabricación de cada momento coincidirá con las necesidades reales de ese momento.
- Al reducir inventarios, los problemas se pueden detectar fácilmente.
- El nivel de inventarios se regula fácilmente a través del número de tarjetas en circulación.

Tiempos de preparación y de fabricación:

- Tiempo fabricación:
  - i. Tiempo de espera entre procesos.
  - ii. Tiempo de transporte.
  - iii. Tiempo de elaboración del lote.
- Tamaño de los lotes.
- Single Minute Exchange of Die (SMED) para reducir los tiempos de cambio que se producen cuando finaliza la última pieza de una serie y se produce la primera de la siguiente serie.
- Fases para mejorar los tiempos de preparación:
  - i. Distinguir entre preparación interna y externa -> Separarlas -> realizar primero la interna.  
Las operaciones que se realizan con la máquina parada se denominan **internas** y aquellas que se realizan mientras la máquina produce se denominan **externas**

Estandarización de las operaciones:

Determinar el orden secuencial de las operaciones que ha de ejecutar un operario polivalente al manejar distintas máquinas, de forma que se obtengan los siguientes objetivos:

- Eliminar todas las tareas o movimientos inútiles.
- Equilibrar todos los procesos en términos de tiempo de producción.
- Utilizar la mínima cantidad posible de trabajo en curso.

Para ello utilizamos 3 elementos básicos:

- Ciclo de fabricación de un ítem.



- Ruta estándar de operaciones de un operario.
- Cantidad estándar de trabajos en curso.

### 3. Shojinka

Capacidad de adaptación a la demanda mediante flexibilidad.

Distribución en forma de U:

- Un operario puede acceder a varias máquinas.
- Ayuda a reducir la cantidad de existencias de productos en curso.
- Facilita el control visual.
- Disminuyen los tiempos de preparación de máquinas
- Facilita la comunicación y la ayuda mutua de los trabajadores.

Rotación de tareas:

- Aumenta la motivación y disminuye la monotonía.
- Ningún trabajador se siente perjudicado en la asignación de tareas.
- Se facilitan procesos de ayuda mutua.
- Aumenta el grado de responsabilidad entre los trabajadores.

### 4. Soifuku

Programa de recogida y aprovechamiento de las ideas y sugerencias de los trabajadores.

- Los trabajadores son quienes mejor conocen las diferentes operaciones de producción.
- Para enriquecer su trabajo, eliminar los aspectos inútiles y perjudiciales del mismo.
- Plan de sugerencias.
- Círculos de calidad.

### 5. Jidoka

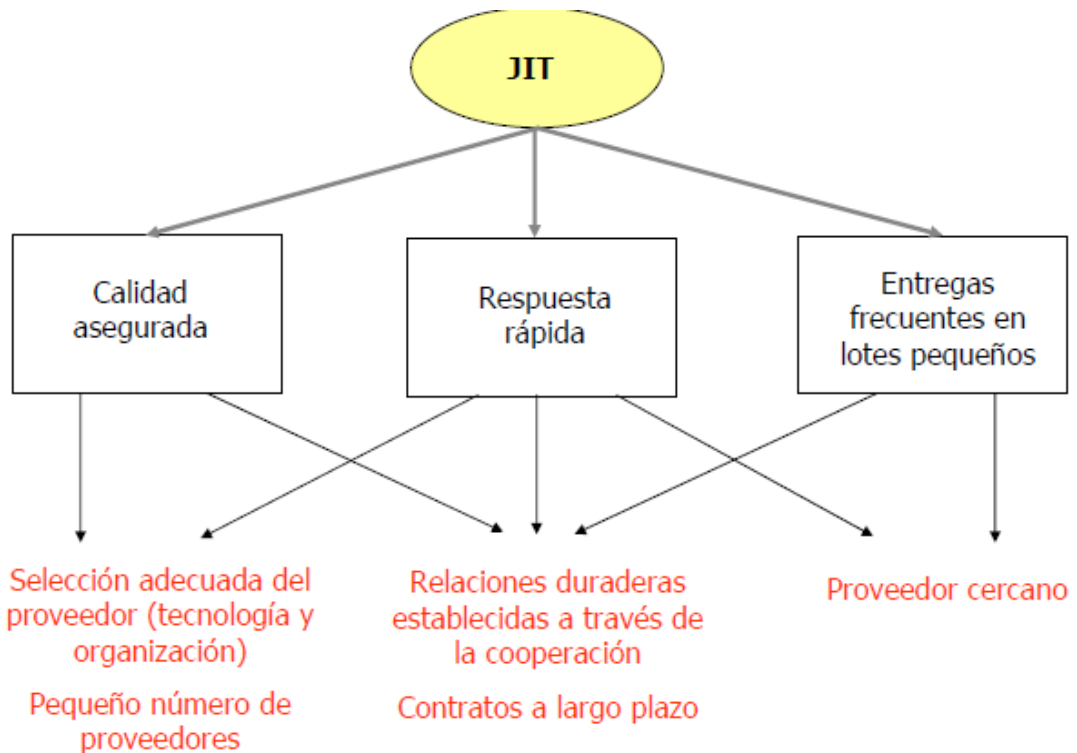
El control autónomo de defectos:

- La calidad es un elemento fundamental.
- La calidad no se inspecciona, se fabrica.
- Los métodos de control estadístico no son adecuados.
- Asegurar una inspección del 100% de las pizzas procesadas.
- Autoinspección
- "Poka-Yoke" (a prueba de errores)

### 6. Mantenimiento productivo total

- Todos los trabajadores participan en las labores de prevención, detección y corrección de las anomalías de diseño o funcionamiento de las máquinas.
- Tiene dos ventajas fundamentales.
  - i. Los operarios son quienes mejor conocen sus máquinas (ruidos, vibraciones, etc.)
  - ii. Se da a los operarios una cierta sensación de propiedad sobre aquellas máquinas, por lo que se sienten más responsables a la hora de evitar averías.

## 7. Relaciones con proveedores



## 9.4 JUST IN TIME EN EMPRESAS DE SERVICIOS

- Sincronización y equilibrio.
- Flexibilidad.
- Respeto por el factor humano en la empresa.
- Proceso de mejora continua.
- Atención por la limpieza.
- Simplificación del flujo de operaciones.
- Revisión de los equipos y de los procesos tecnológicos.
- Nivelación de la producción.
- Cambios en las distribuciones en planta.

## 9.5 IMPLANTACIÓN DE LA FILOSOFÍA JIT

- Fase previa: Educación directiva y creación de un equipo para la implantación.
- Educación para el JIT.
- Mejorar los procesos.
- Mejoras en el control.
- Relaciones con proveedores y clientes.

## 9.6 MRP VS JIT

| VARIABLE              | JIT  | MRP  |
|-----------------------|--|--|
| Calidad               | Objetivo: Cero defectos.<br>Responsabilidad trabajadores.    | No gestiona la calidad.<br>Control estadístico.                        |
| Mantenimiento         | Constante y efectivo.  | Cuando es necesario.   |
| Cambios de diseño     | Cambia los procesos y la planta.                             | Los toma como están.   |
| Plazo de respuesta    | Horario.   | Semanal.   |
| Proveedores           | Pocos, cercanos y con contratos a largo plazo.               | Visión tradicional: Muchos y con contratos a corto plazo.              |
| Programación          | Tipo PULL.   | Tipo PUSH.   |
| Simulación            | No permite la simulación.                                    | Permite simular las variantes en la planificación.                     |
| Stocks                | No son justificables. Ocultan los problemas.                 | Hay que mantener cierta cantidad de protección. Aconseja su reducción. |
| Tamaño de los lotes   | Objetivo: Fabricación unitaria.                              | Se determinan con ciertas técnicas.                                    |
| Tiempo de suministro  | Su reducción es una meta fundamental.                        | Acepta los que existen.  |
| Tiempo de preparación | Su reducción es una meta fundamental.                        | Acepta los que existen.  |
| Trabajadores          | Son la riqueza principal de la empresa. Amplia colaboración. | Menos participación del trabajador.                                    |

## TEMA 10: TEORÍA DE LAS LIMITACIONES: TOC (Theory of constraints)

Es una teoría que surgió en la década de los 70 y es el resultado de los estudios del físico F. Goldratt. Esta teoría propone que la gestión de los sistemas se ha de realizar en base a sus limitaciones.

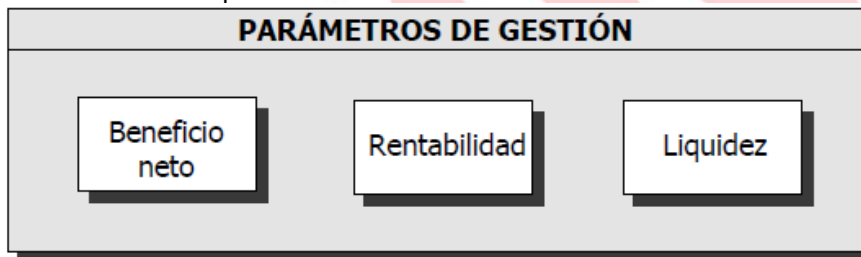
- **OPT** (Optimized Production Technology): Tecnología de la Producción Optimizada. Es el resultado de aplicar la TOC al subsistema de operaciones, OPT se basa principalmente en el equilibrio del flujo de producción y en hacer girar la gestión alrededor de los recursos que significan un cuello de botella, que son las limitaciones del sistema.

Según TOC:

- Una organización es una sucesión de acciones en cadena.
- El rendimiento de cualquier cadena está siempre determinado por la fuerza de su eslabón más débil. -> Limitaciones (Partes débiles de la organización que le impiden llegar a la META)
- Los directivos deben dedicar sus esfuerzos a localizar y gestionar estas limitaciones.

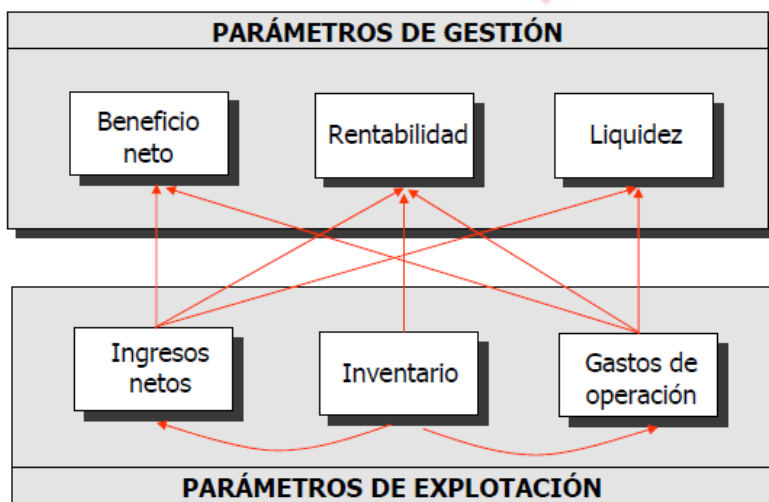
### 10.1 METAS SEGÚN EL ENFOQUE TOC

- Según TOC, la única meta de una organización con ánimo de lucro es la de **GANAR DINERO**, ahora y en el futuro, considerando los restantes objetivos como simples medios para conseguir la meta final.
- Será productivo para la empresa todo aquello que contribuya a conseguir este objetivo.
- El análisis del grado de acercamiento de una empresa a su meta debe estar basado en los siguientes parámetros de gestión:
  - o Beneficio Neto.
  - o Rentabilidad.
  - o Liquidez.

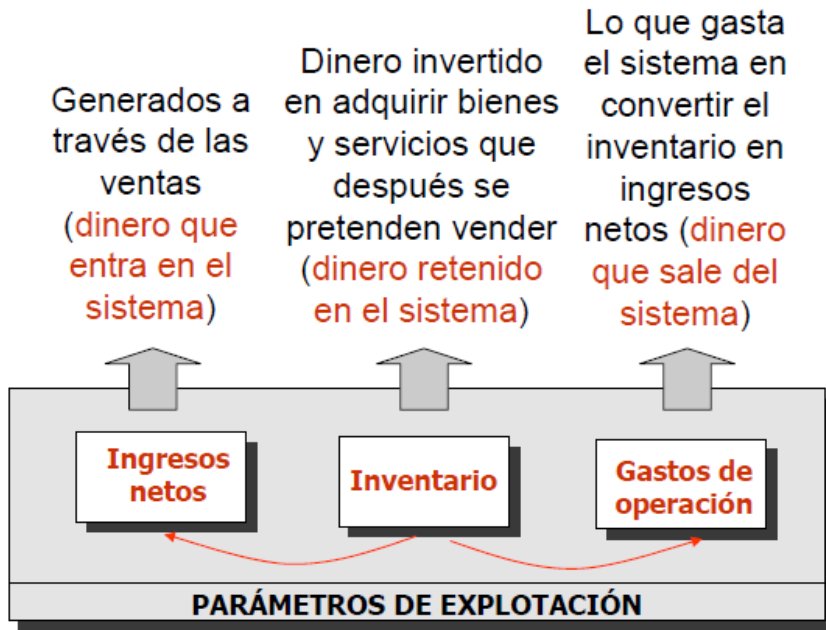


PERO...

- Estas variables financieras son demasiado grandes.
- A nivel operativo, es necesario disponer de otros parámetros más fácilmente mesurables.
- Goldratt propone tres nuevos parámetros de explotación:

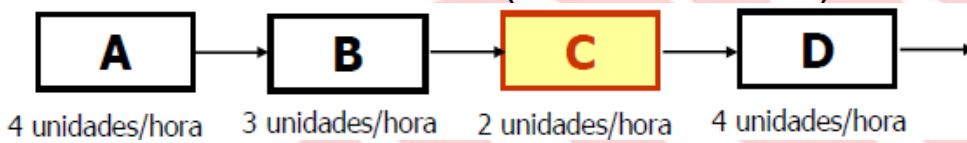






## 10.2 PASOS PARA LLEGAR A LA META

### 1. Identificar los cuellos de botella (limitaciones del sistema)



La limitación es lo que nos determina la capacidad máxima del sistema.

Si: Capacidad del Recurso > Carga  
 → El recurso dispone de margen de capacidad (limitación)

Si: Capacidad del Recurso < Carga  
 → El recurso NO dispone de suficiente capacidad (Cuello de botella)

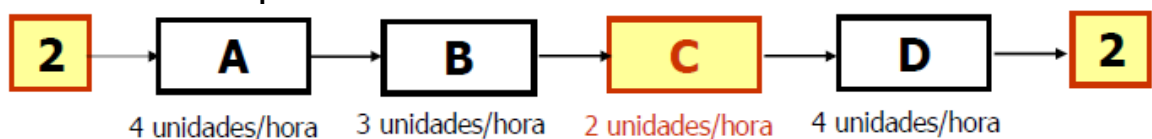
### 2. Decidir cómo explotar las limitaciones para obtener el máximo rendimiento de aquel recurso.

Todo el sistema deberá ir al ritmo de la limitación.

Para explotar al máximo su rendimiento, será preciso aplicar una mejora de procesos focalizada en este punto. Se trata de ver si:

- Funciona a la máxima capacidad posible.
- Existen tiempos muertos.
- Está siempre alimentada de trabajo.
- Tiene averías.
- Fabrica defectos.
- Etc...

### 3. Subordinar todo a las decisiones adoptadas en el paso anterior. Subordinar las decisiones sobre los recursos que no son limitaciones.



Se trata de procesar únicamente lo necesario para poder ejecutar el programa de la limitación, ni más ni menos.

### 4. Elevar la limitación: superar las restricciones fijadas por falta de capacidad.

Si una vez realizados los pasos anteriores todavía no disponemos de la capacidad deseada, habrá que aumentarla. Ello no implica la adquisición de más capacidad, sino la utilización más racional de la existente (p.e. no dedicándola a las tareas que no repercutirán directamente en una facturación inmediata, no dejando al CT parado bajo ningún concepto, no dedicando su tiempo a piezas defectuosas, etc.

- 5. Si en los pasos previos se ha roto una limitación hay que volver al primer paso.**  
El proceso debe ser de mejora continua.

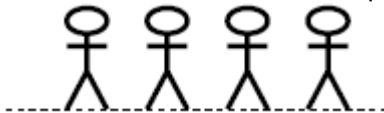
### 10.3. TOC APLICADA AL SUBSISTEMA DE OPERACIONES: OPT

Son hojas impresas para registrar datos de forma ordenada, simple y precisa, de manera que se facilite el trabajo de recogida al operario y no se le dificulte la realización de sus actividades habituales.

**Regla 1: No se debe equilibrar la capacidad productiva, sino el flujo de producción.**

Ejemplo: Analogía entre el proceso productivo y una marcha de boy-scouts.

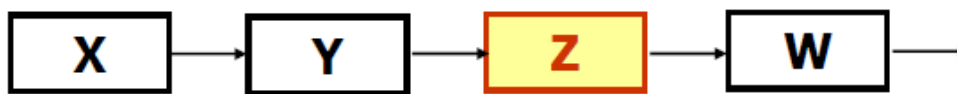
- Supongamos una marcha de boy-scouts colocados en fila india, los cuales deben mantener el orden de salida (sin adelantarse)
- Inicialmente: la fila marcha compacta...



- Con el paso del tiempo: la longitud de la fila se alarga...



- El alargamiento de la fila (huecos) se debe a la combinación de fluctuaciones estadísticas con procesos dependientes (nadie puede sobrepasar al compañero que lleva delante).
  - o Fenómenos intrínsecos: Falta de capacidad de algún CT. A alguno de los miembros de la excursión. (p.e: menor ritmo de paso de Z)
  - o Fenómenos aleatorios: Falta de puntualidad en la entrega de materias primas, averías, problemas de calidad, etc. (sensación de sed, atarse un zapato, cansancio...)
- Puede suceder que Y, después de atarse un zapato pueda recuperar el terreno perdido andando más deprisa, o no.

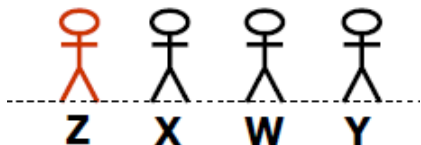


3 unidades/hora    5 unidades/hora    2 unidades/hora    4 unidades/hora

- La cantidad de producto en curso sería la longitud de la fila.
- La cantidad de productos vendidos sería el camino ya recorrido (camino ya sobrepasado por el último elemento de la fila).

La mejor solución para mantener la fila compacta es:

- Colocar los miembros de la excursión en orden inverso a su capacidad de andar.
- Aumentar la capacidad del elemento más lento de la marcha, que ahora va el primero marcando el ritmo.



La mejor solución para el sistema productivo es:

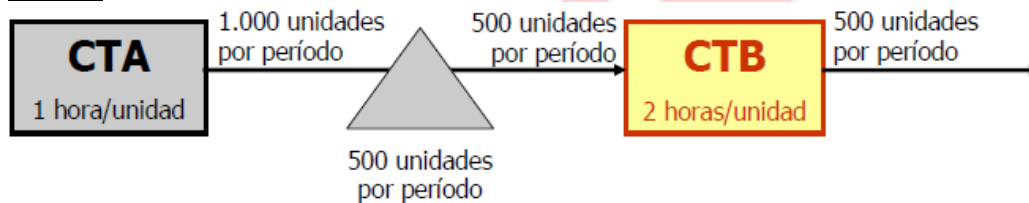
- a) No hay que preocuparse de equilibrar la capacidad de la planta, sino de intentar equilibrar el ritmo de producción de los recursos no cuello de botella al ritmo que marca la limitación del Cuello de Botella.
- b) Intentar elevar la capacidad del Cuello de Botella hasta que se logre un equilibrio con la demanda del mercado.

**Regla 2: La utilización de un recurso no cuello de botella, no viene determinada por su propia capacidad sino por alguna otra limitación del sistema.**

Ejemplo: Tres centros de trabajo: CTA, CTB y CTM (Montaje)

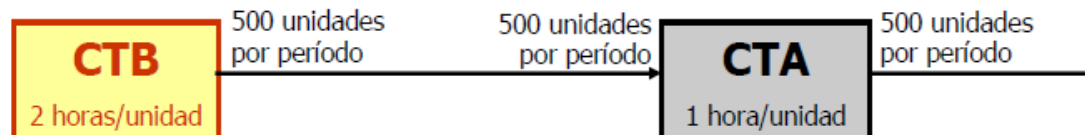
- Ocupación del 100% para conseguir altos rendimientos.
- Capacidad de los centros de trabajo: 1000 horas/periodo.
- Por cada unidad de producto final se requiere:
  - o 1 hora en CTA.
  - o 2 horas en CTB.
  - o 1 hora en CTM.
- Demanda del periodo del producto final: 1.000 unidades.
- El Cuello de Botella se encuentra en CTB, ya que su capacidad solo puede abastecer el 50% de la demanda.

Caso A:



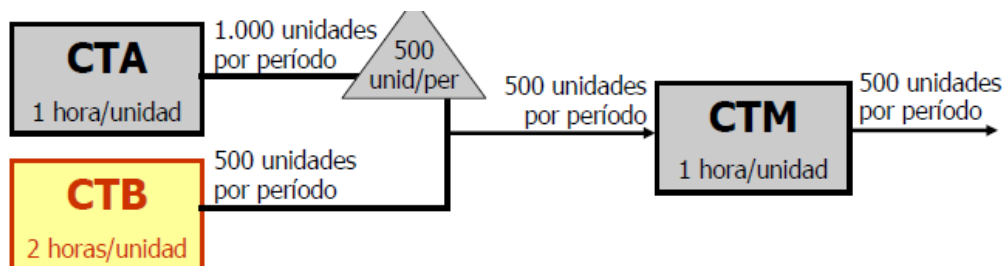
- Solo 500 productos finales pueden transformarse en facturación, quedando sin procesar 500 productos semielaborados del periodo.
- Trabajar con CT a plena capacidad se traduce en un aumento de los inventarios en curso.

Caso B:



- A pesar de que CTA dispone del doble de capacidad que CTB, solo podrá utilizar la mitad de la misma, es decir, la necesaria para procesar las 500 unidades que le llegan de CTB.

Caso C:



- Llegan al montaje 500 unidades de CTB y 1000 de CTA.
- Aunque CTM tiene capacidad para procesar 1000 unidades, solo puede trabajar sobre 500, que es el flujo de caja que le llega de CTB.
- Las ventas habrán sido de 500 unidades. Quedan 500 unidades en forma de inventario de productos en curso.

**Regla 3: La utilización y la activación de un recurso no es la misma tarea.**

- Utilizar un recurso significa hacer uso de él para que el sistema se dirija hacia la meta.
- Activar un recurso implica dejar que funcione solo, se obtenga o no beneficio por su trabajo.

Si se hace trabajar un recurso cuello de botella a plena capacidad, no se consigue vender por encima de lo que obtiene el recurso saturado. En este caso, no nos acercamos a la meta, sino al contrario (aumentamos los inventarios y los gastos de la operación). Así, los recursos están activados, pero no correctamente utilizados.

**Regla 4: Una hora perdida en un cuello de botella es una hora que pierde todo el sistema.**

- Son los cuellos de botella los que determinan el flujo de producción. Su limitación local se convierte en una limitación global para todo el programa de producción.
- Si el recurso cuello de botella pierde una hora de producción, esta hora la pierde también todo el sistema, ya que es él el que determina el volumen de producción que se puede obtener.

**Regla 5: Una hora ganada en un recurso NO cuello de botella, es un espejismo.**

- Una hora ganada o un incremento de capacidad conseguido en un centro de trabajo que no es cuello de botella no implica un incremento de la producción del sistema.
- La producción que se puede obtener no viene determinada por los recursos no cuello de botella, sino por los recursos que sí lo son.

**Regla 6: Los cuellos de botella rigen tanto el inventario como la facturación del sistema.**

Si el flujo de producción no está equilibrado:

- Se producirán inventarios en el centro de trabajo cuello de botella (debido a su limitación de capacidad).
- Los centros de trabajo posteriores se pueden encontrar sin material procedente del cuello de botella.

En consecuencia, tanto el programa de producción como el nivel de inventarios se debe regular teniendo en cuenta las limitaciones.

Además, como son las limitaciones las que determinan el volumen de producción, también éstas determinan la facturación.

**Regla 7: El lote de transferencia puede no ser, y de hecho muchas veces no debe ser, igual al lote del proceso.**

- OPT propone intentar reducir, mediante un lote de proceso grande, las preparaciones de máquinas en los centros de trabajo cuello de botella, para poder aprovechar al máximo su capacidad y reducir el lote de transferencia para que los centros de trabajo que tienen exceso de capacidad, la utilicen aumentando la frecuencia de las preparaciones para conseguir una reducción de los stocks intermedios y del tiempo de suministro adecuado.

**Regla 8: El lote de fabricación ha de ser variable a lo largo de su ruta y también del tiempo.**

- Ello se debe al comportamiento dinámico del sistema, en el que los centros de trabajo cuello de botella son variables.
- El programa de producción exige un determinado número de productos finales para cada período; este volumen normalmente es variable y ello comporta que las necesidades de capacidad también lo sean.
- Esto significa que los centros de trabajo no cuellos de botella pueden convertirse en determinados momentos en cuellos de botella o que, los que lo son dejan de serlo.

**Regla 9: Las prioridades solo se pueden fijar teniendo en cuenta simultáneamente todas las limitaciones del sistema. El tiempo de fabricación es un derivado del programa.**

- En el caso de retrasos de algunos pedidos, puede decidirse fabricarlos con máxima urgencia, incluso interrumpiendo el procesamiento de otras series y sin tener en cuenta las implicaciones que ello puede tener en los distintos centros de trabajo.

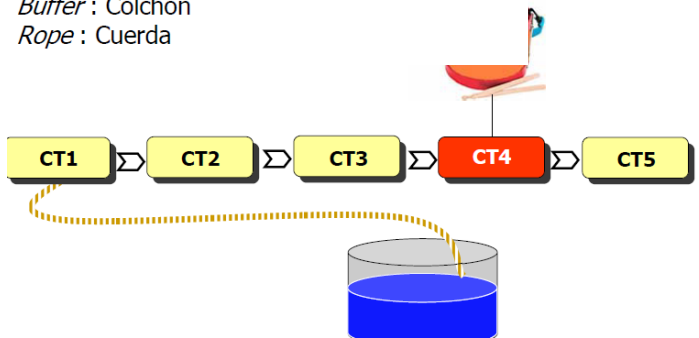
- Si esa urgencia se traduce en programación de series más cortas, que inciden en más preparaciones en el cuello de botella, se estará afectando a todo el sistema en su conjunto, retrasando muchos otros pedidos que, a la larga, empeorarán la situación inicial.

## 10.4. EL PROCESO DBR

Es un gráfico que representa la distribución en una serie de datos, ordenados de manera que sea posible analizar la frecuencia de ocurrencia de estos datos.

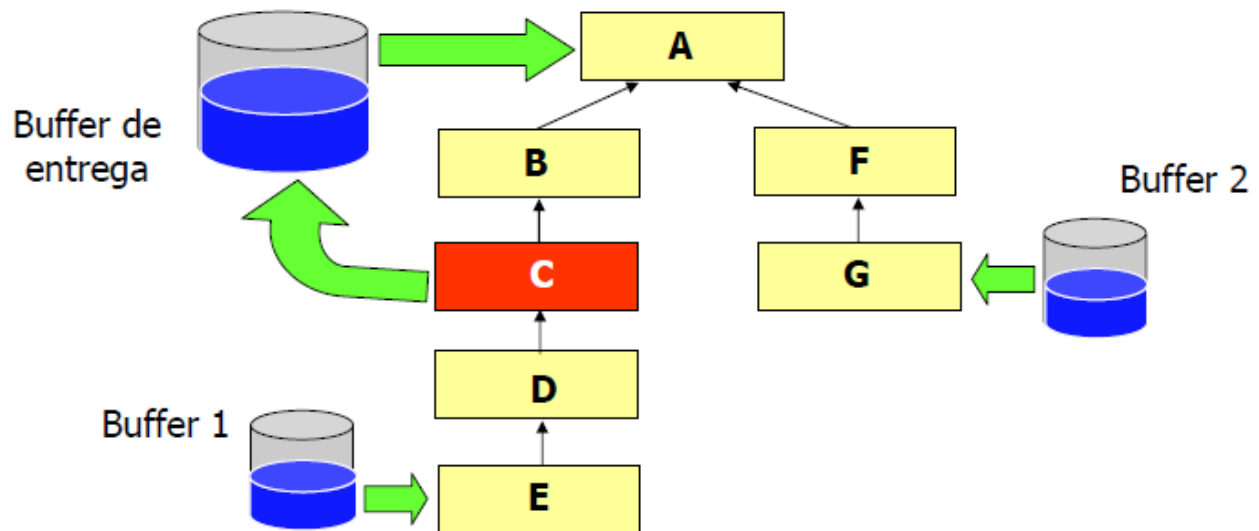
La solución DBR:

**Drum:** Tambor  
**Buffer:** Colchón  
**Rope:** Cuerda  
*Butter:* Colchon  
*Rope:* Cuerda



El proceso DBR:

1. Identificación de los cuellos de botella:  
Se compara la carga de trabajo del programa de producción con la capacidad de cada uno de los recursos productivos. Aquel que su carga sea mayor o igual a su capacidad es el cuello de botella.



2. Programación de los cuellos de botella  
Una vez identificados los cuellos de botella, se modifica el programa de producción teniendo en cuenta las limitaciones de capacidad.
3. Programación de los centros de trabajo posteriores al cuello de botella y que utilizan recursos procedentes del cuello de botella (B y A).  
Estos centros son críticos ya que el flujo de material viene condicionado por el que reciben del cuello de botella que actúa como elemento que empuja la producción hacia delante.
4. Programación de los centros de trabajo anteriores al cuello de botella y que le suministran los materiales a procesar (D y E).

La programación de estos recursos se realiza a partir de la programación de los recursos cuello de botella. Debido a que sería perjudicial para el recurso cuello de botella se quedara sin material para procesar, se establece un buffer (1) para protegerlo de posibles roturas de stock.

5. Programación de los recursos que no son cuello de botella, pero que procesan materiales que serán ensamblados con otros componentes procedentes del cuello de botella (F y G). Debido a que la falta de material procedentes de estos centros, en el trabajo a podría suponer el incumplimiento de la fecha de entrega al cliente, es necesario crear un buffer (2) para disminuir la probabilidad de que se den estos incumplimientos.

NOVA



## TEMA 11: LA GESTIÓN DE LA CALIDAD

Definición de calidad:

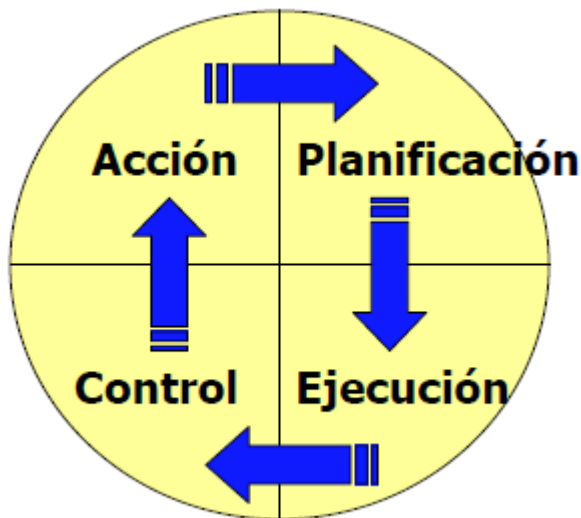
- Según Juran – Adecuación e idoneidad al uso.
- Según la American Society of Quality Control (ASQC) – Conjunto de características de un producto, proceso o servicio que le confieren su aptitud para satisfacer las necesidades del usuario.

### 11.1 CICLO GENERADOR DE CALIDAD

#### 1. Ciclo de Deming (o de Shewhart), 4 etapas:

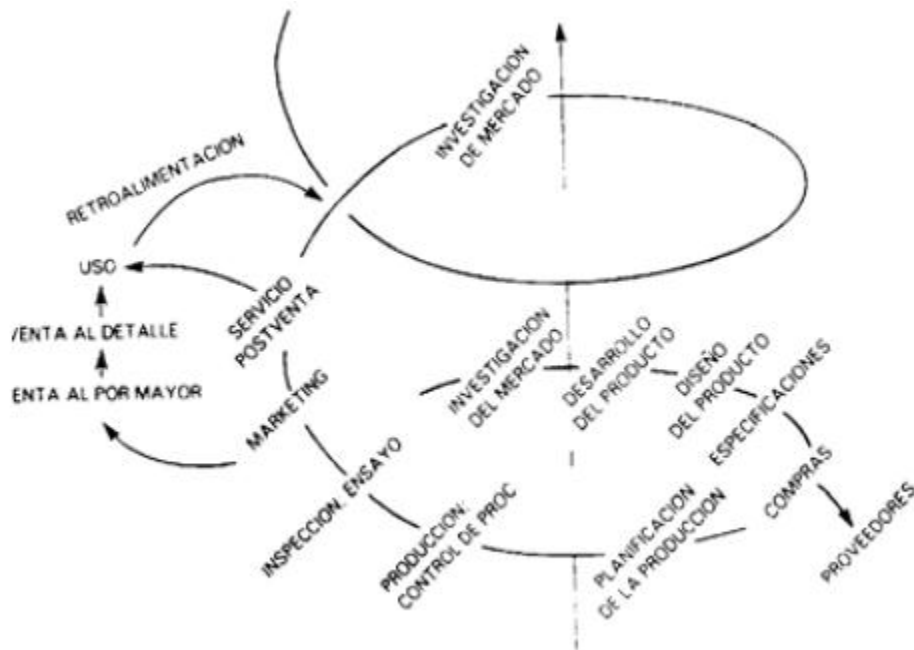
- Planificación de un cambio.
- Llevarlo a la práctica.
- Verificar los resultados.
- Tomar las decisiones oportunas.

Se denomina también Ciclo PDCA (Plan, Do, Check, Action) o PEGA (Planificación, Ejecución, Control, Acción).



#### 2. La espiral de progreso de Juran:

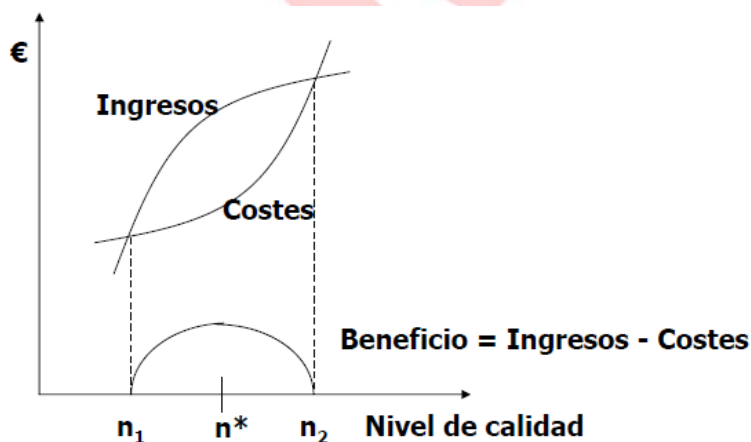
- La función de la calidad debe recoger un camino para conseguir la aptitud al uso.
- El logro de esta implica la realización de un cierto número de acciones o actividades independientes en una progresión lógica, formando dichas actividades la espiral del progreso.
- Una vuelta de la espiral se inicia con la investigación y desarrollo del producto para crear una mejora de la aptitud al uso.
- Al final de esta vuelta, la experiencia de uso crea una nueva idea, que inicia otra vuelta de la espiral para una mejora posterior.



## 11.2 ELEMENTOS DE LOS QUE DEPENDE LA CALIDAD

1. **Materiales** -> Utilización de materias primas, componentes o productos semielaborados de calidad.
2. **Máquinas** -> Las más apropiadas. No debemos confundir máquinas apropiadas con las mejores máquinas del mercado, las más caras, las tecnológicamente más avanzadas...
3. **Métodos** -> Estudio de los métodos a emplear.
4. **Personas** -> Inversión en formación de personal.
5. **Organización** -> Eliminar los puntos débiles y potenciar los favorables.

## 11.3 NIVEL ÓPTIMO DE CALIDAD



A mayor nivel de calidad, tanto los costes como los ingresos se incrementan, pero **no se produce de forma lineal**. Por tanto, debemos localizar el nivel de calidad que maximiza beneficios.

**Nivel óptimo de calidad  $n^*$  → máximo beneficio.**



## 11.4 COSTES DE LA CALIDAD:

### 8. Costes generados por artículos defectuosos.

- Identificados dentro de la empresa.

Posibilidades de actuación y costes asociados:

- Rechazar los artículos.  
Coste de la elaboración (materias primas, mano de obra, energía...)
- Vender los artículos como productos tarados con descuento:  
Coste adicional: Diferencia de precio entre los dos tipos de productos
- Reelaborar los artículos: (productos procedentes de una cadena de montaje como coches, televisores...)  
Coste de la reparación: Mano de obra, pieza sustituida...

Además de estos tres conceptos que ocasionan costes tangibles, existen otros intangibles tales como posibles pérdidas en la producción, reprogramaciones de la misma, retrasos en las entregas...

- Identificados por los clientes.

Si los defectos en los productos no se detectan dentro de la empresa y salen al mercado, tendremos que hacer frente a las reclamaciones de nuestros clientes.

Además del coste del servicio de asistencia, reparaciones, sustituciones de piezas, desplazamientos de personal... Existe un coste intangible extremadamente peligroso: la pérdida de imagen de la empresa como consecuencia de la mala opinión de los clientes sobre la calidad de sus productos.

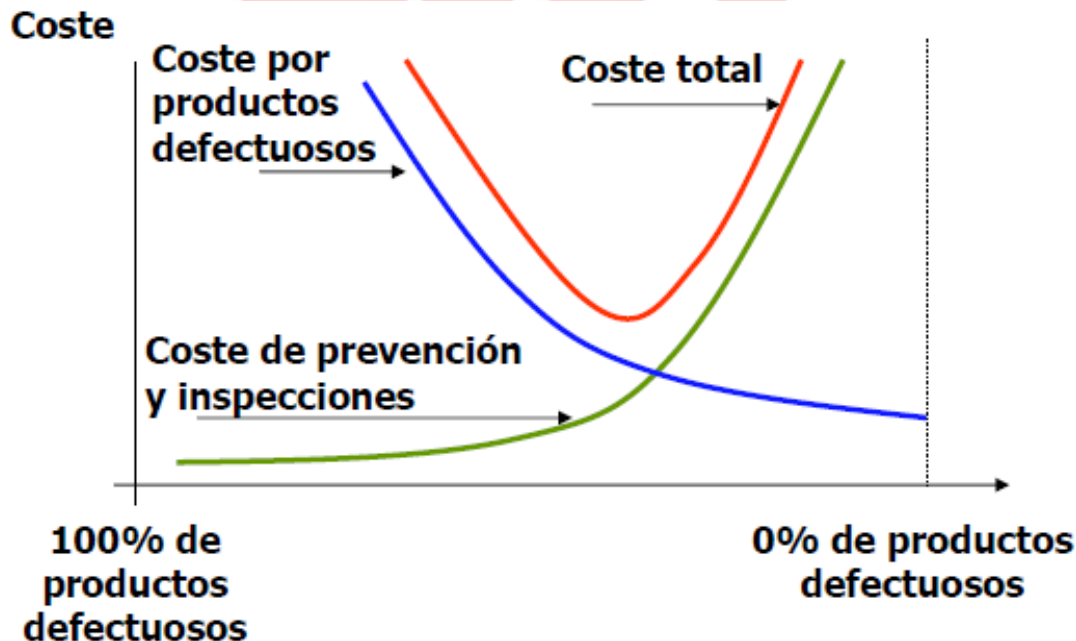
### 9. Costes de inspección.

Incluye todos los esfuerzos encaminados a detectar los defectos de los artículos antes de que salgan al mercado: inspecciones y controles de calidad.

### 10. Costes de prevención.

Derivados del mantenimiento necesario para conseguir una inspección y unos defectos mínimos. Son los costes generados por la planificación de la calidad, la revisión de nuevos productos, la planificación y el control del proceso, la formación de los trabajadores...

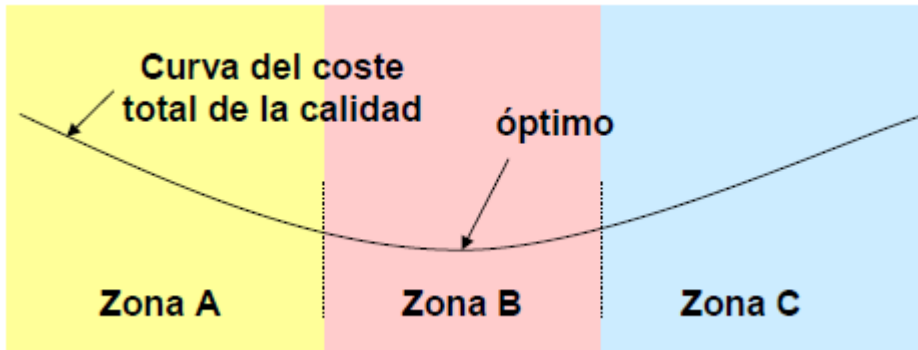
Todos ellos son consecuencia de no producir con un suficiente nivel de calidad -> Costes de la no calidad o de la mala calidad.



Cuánto más intensa sea la inspección se consigue un menor número de productos defectuosos (mejor calidad) a cambio de un mayor coste de inspección.

## 11.5 COSTE TOTAL DE LA CALIDAD

El coste total de la calidad es la suma de los costes por productos defectuosos más los costes de prevención e inspección



**Zona A:** Costes por productos defectuosos superior al 70% del coste total -> Zona de mejora de calidad

**Zona B:** Zona de indiferencia -> Contiene el óptimo de calidad.

**Zona C:** Costes de prevención e inspección superiores a los costes por defectuosos -> Zona de perfeccionismo.

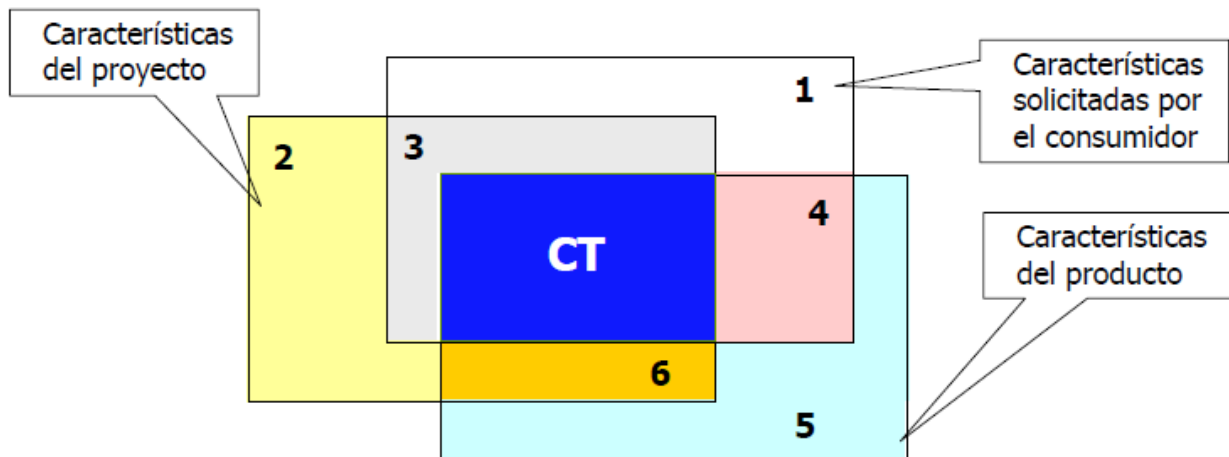
## 11.6 CALIDAD TOTAL

- **Tradicionalmente:**

- i. La calidad solo se refería a la inspección de productos terminados.
- ii. Surgían conflictos entre el personal del departamento de control de calidad y el personal de producción, ya que los primeros no dejaban pasar ningún producto defectuoso y los segundos presionaban para que pasaran aquellos productos que, aún siendo defectuosos, el mercado podía absorber y así cumplir con sus objetivos de productividad.

- **Actualmente:**

- i. A causa de la gran competencia existente en prácticamente todos los mercados, es preciso ofrecer calidad al mínimo precio.
- ii. El concepto de calidad ha tenido que evolucionar, de manera que ha sobrepasado los límites del área productiva, ampliándose y abarcando todas las áreas de la empresa -> Calidad total

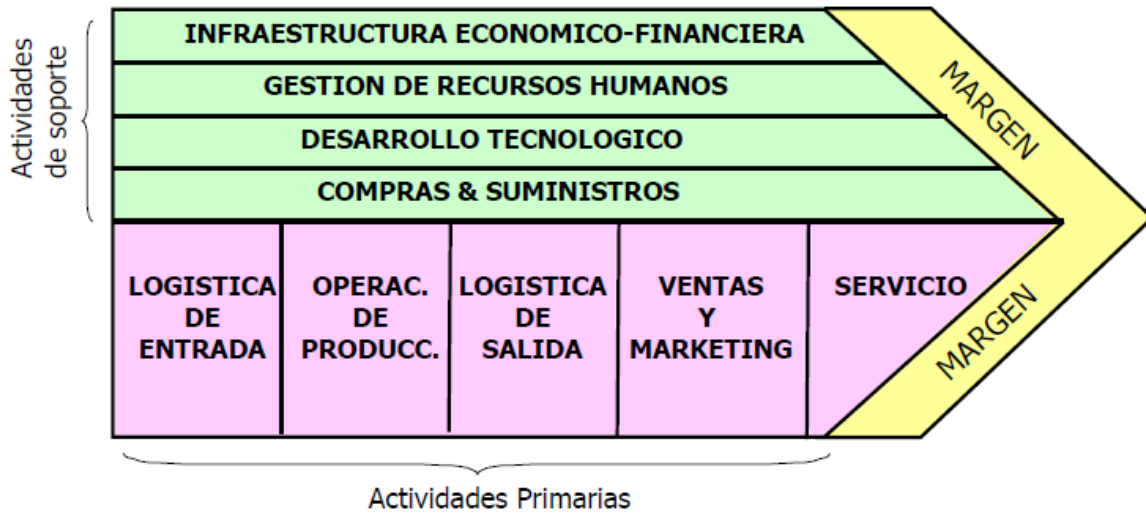


**Zonas 1 y 4,** características deseadas por el consumidor que no se han tenido en cuenta a la hora de realizar el proyecto.

**Zona 5,** características del producto que están fuera del proyecto y que no son deseadas por el posible usuario.

## TEMA 12: LA LOGÍSTICA EMPRESARIAL:

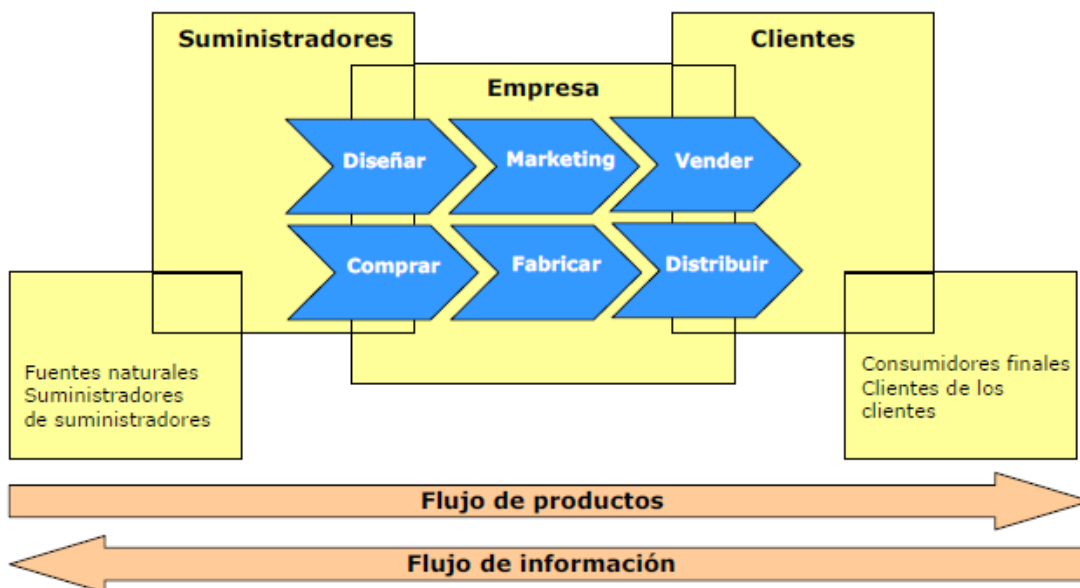
**Logística:** Es el proceso de planificación, implantación y control de una forma eficiente del flujo de materias primas, los materiales en curso de fabricación y los productos terminados, así como de la información relacionada desde el punto de origen hasta el punto de consumo, con el objetivo de cubrir las necesidades de los clientes.



### 12.1 LA CADENA DE SUMINISTRO (SCM: Supply Chain Management)

Es la secuencia de proveedores que contribuyen a la creación y entrega de una mercancía o un servicio al cliente final.

**Gestión de la cadena de suministro:** De forma efectiva y al "mejor" coste posible los flujos, movimientos, inventarios de productos terminados e información relativa a los mismos, desde un lugar de origen a un lugar de destino para satisfacer las necesidades del cliente.

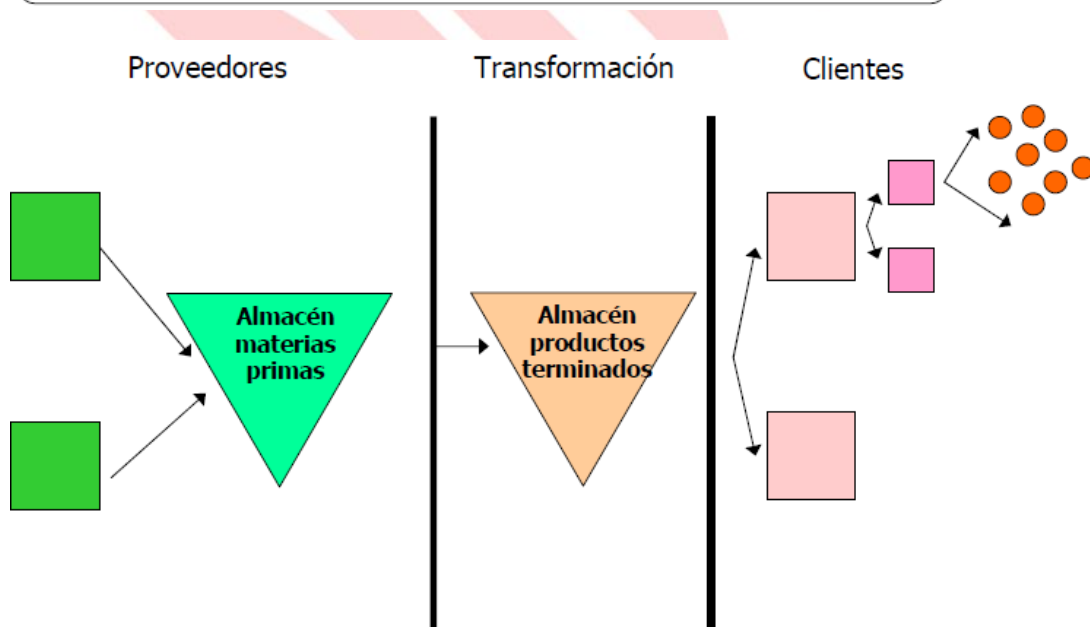
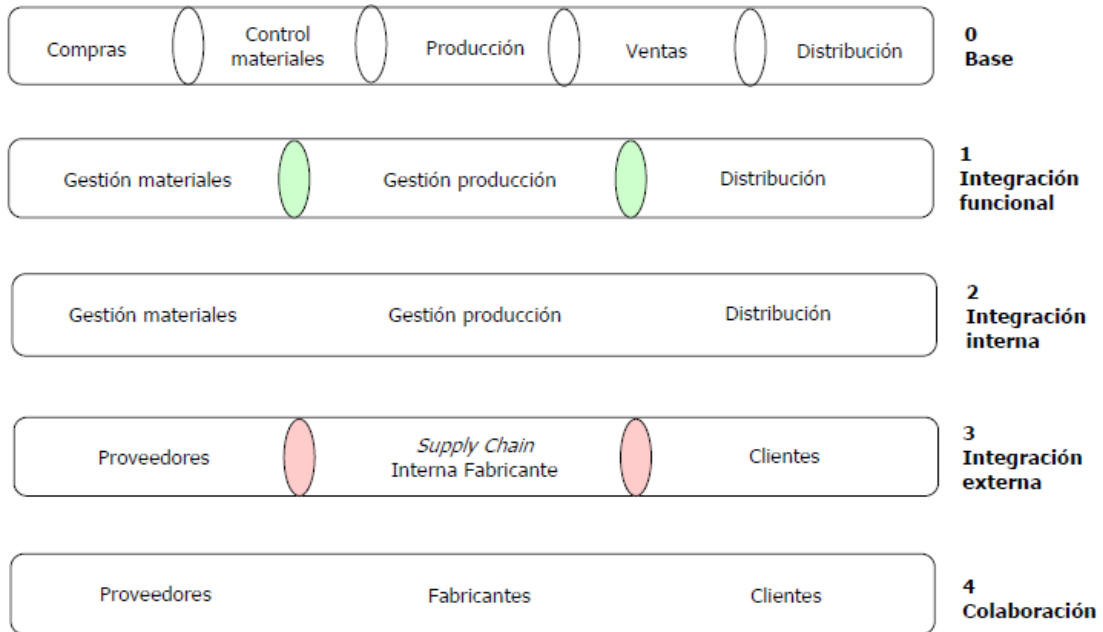


ESADE; Producción y logística (2004:29)

**Importancia de la logística:**

- La logística es fuente de ventajas competitivas.
- Puede aportar ventajas competitivas en:
  - Coste.
  - Diferenciación por un mejor servicio.
- Una cadena logística compite contra otra cadena logística.

**Etapas para la integración de la cadena de suministro:**



**12.2 EL PLAN LOGÍSTICO**

**OBJETIVOS:**



- Reducir al máximo el proceso logístico.
- Rápido, sencillo, cómodo y barato.
- Empleando mínimos medios.

**Comprende:**

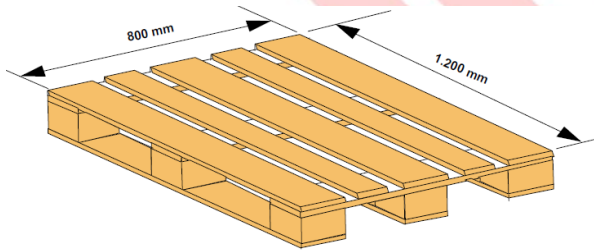
- Clasificación de artículos según sus características logísticas y nivel de actividad logística.
- Escalonamiento/ Almacenamiento/ Proceso Logístico.
- Distribución y organización del proceso logístico.

**Debe conseguir:**

- Reducir los transportes necesarios.
- Reducir las manipulaciones.
- Reducir los stocks.
- Reducir las clasificaciones en grupos distintos.
- Reducir los controles.
- Evitar desembalajes y reembalajes.

## 12.3 CLASIFICACIÓN DE MATERIALES

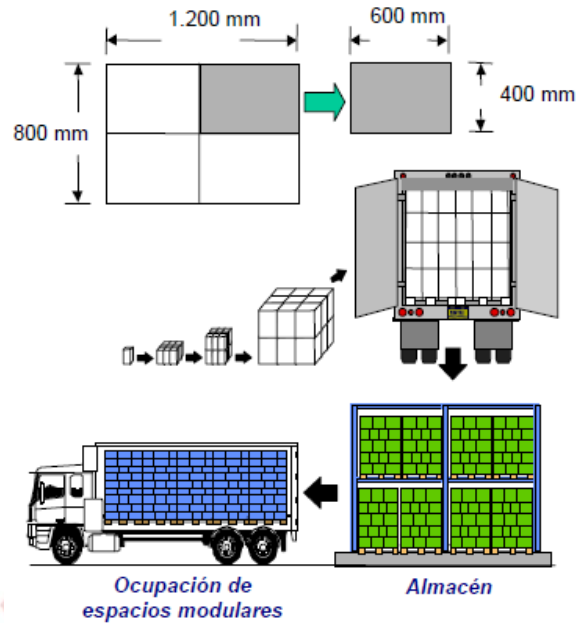
- En función de sus características logísticas, que permita determinar la **unidad de carga**:
  - o Transporte (embalajes, peso, volumen).
  - o Manejo (resistencia, rigidez, contenedores, soportes).
  - o Almacenaje (dimensión, volatilidad, combustibilidad).
  - o Tráfico (lotes de pedido, frecuencia).
- Análisis ABC.
- Máxima normalización (contenedores, palets)
  - o P.Ej: Europalet estandarizado.



- o Modularidad de los embalajes:

Ventajas del sistema modular:

- Reducción de los costes a través del mejor uso de todas las capacidades de los elementos que interactúan en la cadena de suministro.
- Aumento de la capacidad de automatización en la fabricación, almacenamiento y distribución.
- Minimizar los daños de productos a través de un mejor uso del espacio y la estabilidad.
- Mejorar las ventajas ergonómicas para procesos de manipulación.
- Mayores ventajas medioambientales para evitar pérdidas de espacio en almacén y transporte.



- o Identificación de los productos.
  - Código de referencia interno.
  - Descripción del producto.
  - Unidad de venta: EAN 13. *Ejemplo:*



PAIS

MARQUISTA

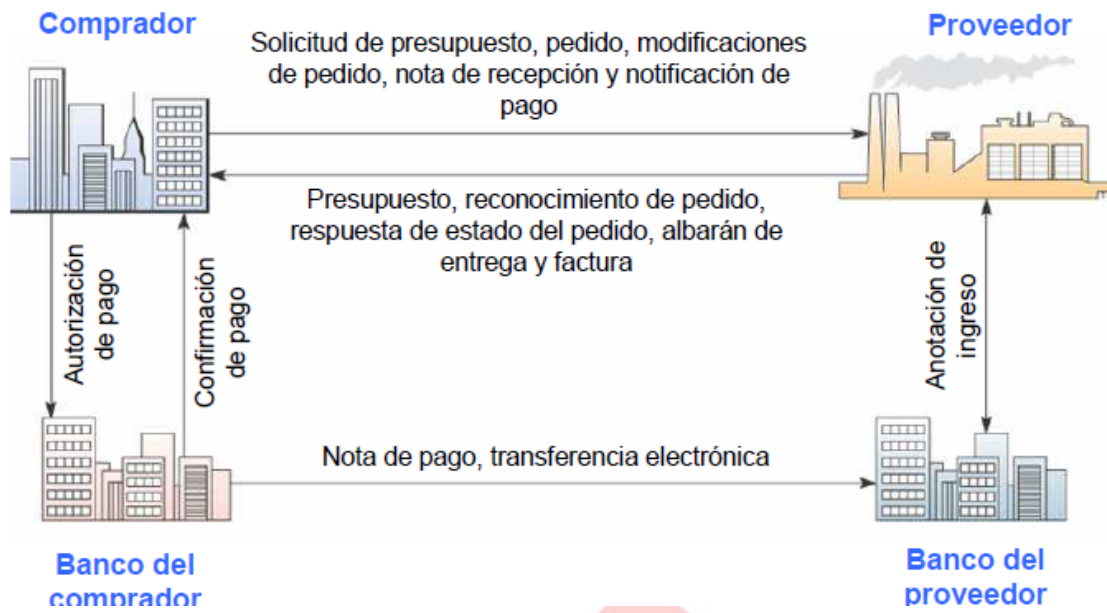
PRODUCTO

- Embalaje: DUN 14.
- Fecha de consumo preferente: límite de aceptación por los clientes.
- Unidad de carga: EAN 128.

## 12.4 LOGÍSTICA DE APROVISIONAMIENTO

Su misión es satisfacer las necesidades de materiales de la empresa (materias primas, productos semielaborados, suministros...) mediante su adquisición a compañías externas, considerando las prioridades competitivas de la organización en cuanto a calidad, coste y tiempo.

- **Gestión de compras:**
  - o Adquirir materiales y suministros necesarios para llevar a cabo la actividad productiva.
  - o Comparar las diferentes ofertas de proveedores y seleccionar los adecuados.
  - o Negociar los contratos de suministro.
  - o Preparar las órdenes de compra, lanzar los pedidos y realizar su seguimiento.
  - o Recepcionar los pedidos.
- **Electronic Data Interchange (EDI)**
  - o Intercambio electrónico de documentos de transacciones empresariales.
  - o Mediante Internet u otras redes de comunicaciones.
  - o Entre los socios comerciales de la cadena de suministro.



- **ECR (Efficient Consumer Response)**
  - o Filosofía cuya misión es la colaboración entre productores y distribuidores “retailers” con el objetivo de eliminar ineficiencias, generar economías de escala y ofrecer un mayor valor a los consumidores. Todo esto conlleva:
    - Nuevo modelo de relaciones.
    - Beneficio mutuo.
    - Compartir beneficios y ahorros
    - Mejoras potenciales:
      - Ahorros de costes en los precios finales.
      - Aumento de ingresos
  - o Estrategias ECR:
    - Por el lado de la demanda:
      - Surtido eficiente.
      - Promociones eficientes.
      - Introducción eficiente de productos.
    - Por el lado de la oferta:
      - Reaprovisionamiento eficiente (CRP)
  - o Acuerdos comerciales de colaboración entre distribuidor y proveedor, de los siguientes niveles:
    - Niveles de stock.
    - Variaciones de stock.
    - Roturas de stock.
    - Movimientos internos de mercancía (ventas e inventarios).
    - Mercancías en tránsito.
    - Tiempo de abastecimiento.
  - o En una implementación de un proceso ECR, tiene que existir dos bases iniciales:
    - Socios en negocios (emisor y receptor)
    - Existir previamente un modelo de intercambio electrónico de documentos.

## 12.5 ALMACÉN:

Un almacén es el espacio físico en que materias primas, productos intermedios o terminados, componentes u otros materiales... esperan a ser utilizados en el proceso productivo o en la distribución y entrega a los clientes.

### - Razones y actividades principales:

Las empresas necesitan acumular mercancías durante un determinado periodo de tiempo:

- o Como amortiguadores de posibles desequilibrios. (pedidos extraordinarios)
- o Para obtener descuentos en el precio de compra. (grandes lotes)
- o Productos que necesitan un tiempo de maduración. (vinos)

Actividades principales de un almacén:

- o Recepción.
- o Almacenaje.
- o Picking (preparación de pedidos)
- o Consolidación y expedición.

### - Zonas típicas de un almacén:

- o Muelles o zonas de maniobra.
- o Zonas de recepción.
- o Zonas de stock.
- o Zonas de preparación.
- o Zonas de salidas.
- o Otras zonas (cuarto de baterías, zonas de residuos, pallets vacíos, etc.)

### - Tipos de almacén según sistemas de almacenamiento:

- o Convencionales.



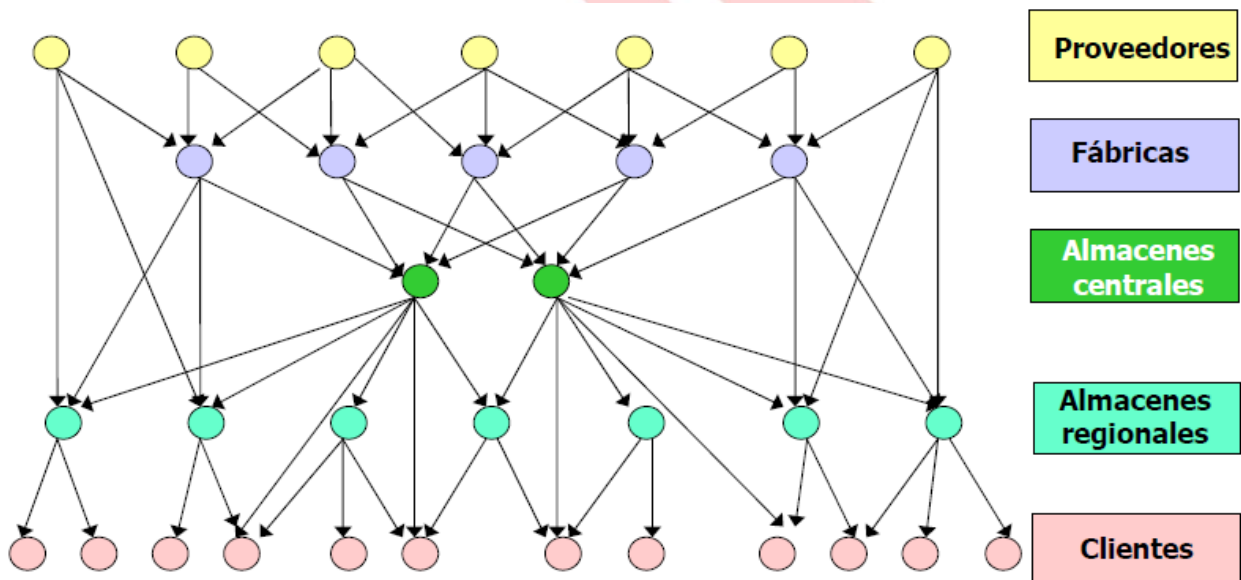


- En bloque.
- Compactos.
- Dinámicos.
- Móviles.
- Semiautomáticos y automáticos.
- Autoportantes.
- Centrales.
- Reguladores o secundarios.
- Depósitos.
- Intermecios, pañoles o almacenillos.
- Parques o espacios de espera.

- **Objetivos principales de un almacén:**

- Reducir: manutención, transportes, distancias, recorridos.
- Reducir espacios y aprovechar alturas.
- Mejorar seguridad y reducir riesgos.
- Mantener el mayor orden posible.
- Reducir costes.
- Sistemas muy flexibles.
- Consultar los RR.HH. de las secciones afectadas.

- **Almacenes en la red logística:**



- **Necesidades de la empresa:**

Las empresas pueden necesitar diferentes tipos de almacenes.

- Decisión estratégica: Dónde ubicarlos???

  - Aspecto comercial.
  - Aspecto económico.

- Diseño del almacén:

  - Partir de las necesidades de tráfico.
  - Calcular la superficie y recursos necesarios.
  - Distribución en planta.
  - Diseño de las operaciones.

- **Un almacén VS varios almacenes:**

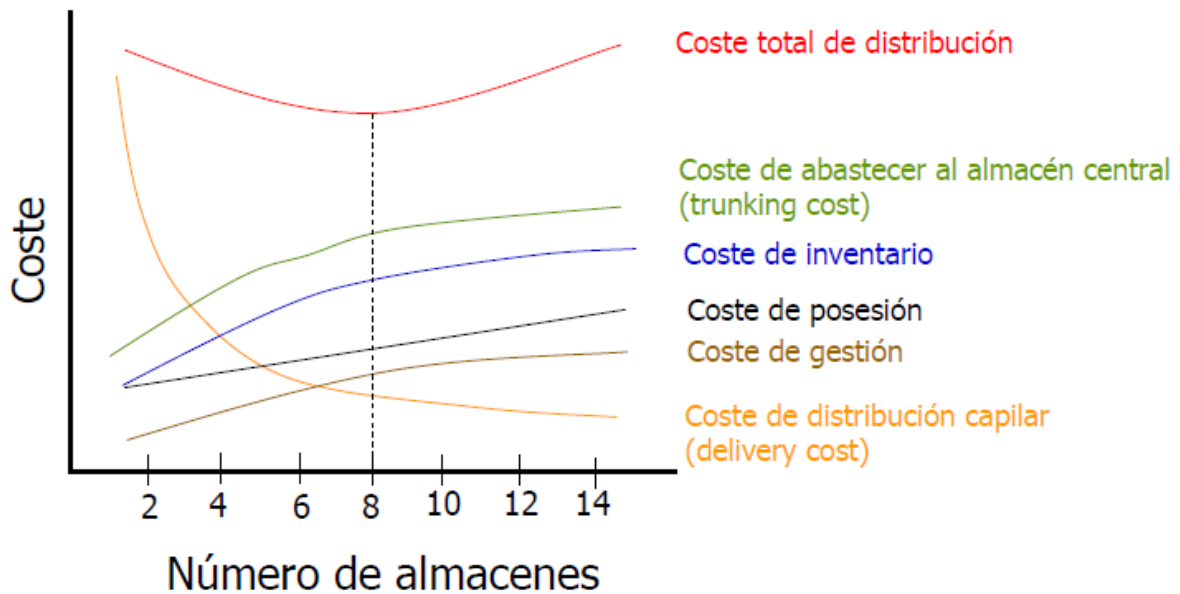
**VARIOS ALMACENES:**

- Menos distancias y recorridos de transporte.
- Mayor rapidez de servicio.

**UN ALMACÉN:**

- Reduce los stocks necesarios y mejora el control.
- Demanda menos espacio de almacenaje y persona.
- Concentra los medios logísticos permitiendo emplear los de mejor calidad y uso.

- **Costes y número de almacenes:**



Del mismo modo que hay costes que se van incrementando cuanto mayor es el número de almacenes en todos los sentidos, las economías de escala provocan que el incremento no sea lineal, otros costes se van reduciendo a medida que aumentamos el número de almacenes.

Lo que debemos observar es el coste total de la distribución (la suma de todos los costes) y buscar el número de almacenes que corresponde a dicho coste mínimo. (ejemplo: 8 almacenes)

- **Almacén vs Plataforma**

Si bien es fácil diferenciar el concepto, ya que en un almacén tiene stock y un punto de tránsito no, la importancia dentro de un modelo de distribución física, de utilizar unos u otros, viene determinada por las características especiales que le dan a la propia red.

Si ya es importante de por sí, la existencia o no de un stock, con efecto valor que ello supone, la utilización de puntos de tránsito con preparación o no de pedidos, implica un efecto en tiempo de servicio que debe ser especialmente calculado y tenido en cuenta.

- **Cross-docking y Transshipment**

Son almacenes sin stock en donde los productos que llegan son despachados inmediatamente.

Cross-docking (cruce de muelles)

- El producto llega desde un almacén central y el objetivo consiste en preparar los pedidos para ser distribuidos inmediatamente.
- El producto suele llegar en palets completos que contienen el mismo tipo de producto.
- Preparación de pedidos: partir los palets que llegan, consolidar los pedidos y cargar los vehículos.

Transshipment (transbordo)

- Los pedidos ya llegan preparados desde el almacén central.
- Solo se debe descargar el producto de un vehículo para cargarlo en otro.

- **Plataformas logísticas:**

- Actividades principales
  - Contratación de transporte.
  - Almacenaje de mercancías.
  - Cross-docking.
  - Operaciones de montaje y acabado del producto.
  - Picking.
- Tipos:
  - Zonas de Apoyo Logístico (ZAL)

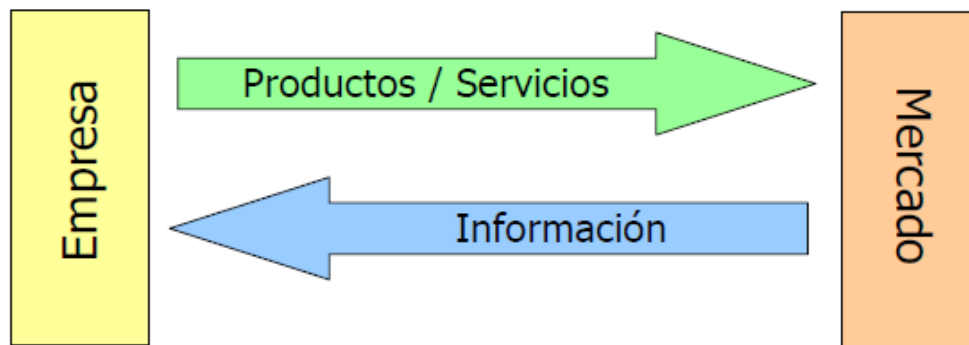
- Centros Integrados de Mercancías (CIM)
- Zonas Francas.
- Puertos Secos.

## 12.6 LOGÍSTICA DE LA DISTRIBUCIÓN FÍSICA

La distribución física es el conjunto de operaciones mediante las cuales se hace llegar un producto a determinado cliente.

Comprende:

- Actividades de transporte y almacenaje.
- Flujos físicos y de información.



### Entorno de la distribución física:

- Cambios en las relaciones producción – distribución – consumo.
- Nuevos sistemas de producción.
- Reducción niveles de stock.
- Subcontratación.
- Mayor necesidad de información.
- Internacionalización de las empresas.

### Efectos en el mundo de los transportes:

- Aumento en el número de envíos (menor tamaño).
- Cambios en el modo de transporte.
- Aumento del tráfico internacional.

## 12.7 RED DE DISTRIBUCIÓN:

Llamamos red de distribución, al conjunto de estructuras, medios humanos y materiales que hacen circular los productos desde uno o más centros de origen, hasta los centros de destino.

En función de los productos a distribuir, una empresa puede compartir diferentes redes de distribución, adaptadas a las características tanto de bienes como de servicios demandados.

- Tipos de distribución:
  - Básicamente existen dos tipos de distribución: Centralizada y Descentralizada. El origen de la mercancía, y más concretamente los diferentes puntos de stock, definen uno u otro tipo.
    - Cuando el stock está centralizado en un solo punto, desde el que se distribuye a todo un territorio, utilizando o no, puntos de tránsito o plataformas, tenemos una distribución centralizada.
    - Por el contrario, si disponemos de varios puntos de stock, interconectados entre sí, desde los que se realiza la distribución para una zona determinada, entonces hablaremos de una distribución descentralizada.
- Fases de la distribución.
  - Almacenaje.
  - Transmisión.
  - Validación.
  - Reserva-Asignación.

- Consolidación.
  - Tramitación electrónica.
  - Preparación (Picking)
  - Confirmación (Picking)
  - Preparación y expedición (Muelles o playas)
  - Expedición y transporte.
  - Recepción.
  - Preparación unitaria.
  - Reexpedición y transporte capilar.
  - Entrega.
  - Confirmación y anomalías.
- Modos de transporte: Selección del modo de transporte se basa en...
- Naturaleza, volumen, valor y características de las mercancías.
  - Flexibilidad del modo de transporte: adecuada a los cambios en la demanda.
    - Carretera.
    - Tren.
    - Marítimo.
    - Aéreo.
    - Tuberías y redes.
- Conceptos:
- Operador de transporte: Quién realiza el transporte.
  - Intermodal: Punto de intercambio entre un proveedor de servicios de transporte a otro.
  - Consolidación: Proceso de recepción de múltiples lotes en cantidades pequeñas que luego son readecuados en lotes mayores.
  - Cross-docking (punto de carga – descarga): Descarga de la mercancía desde distintos vehículos para ser cargada inmediatamente en un contenedor para ser entregada/enviada a su destino final.
- Ejemplo de una red de distribución:



## 12.8 CANALES DE DISTRIBUCIÓN DE PRODUCTOS DE CONSUMO

- **Tienda tradicional**
- **Tienda de conveniencia.**
- **Tienda descuento (discount).**
- **Autoservicio.**
- **Supermercado.**
- **Hipermercado.**
- **Grandes almacenes.**
- **Cash & Carry.**
- **Mayoristas y distribuidores.**
- **Otros canales de distribución comercial:**
  - Reparto a domicilio.
  - Horeca (Hostelería, restaurantes y cafeterías)
  - Máquinas dispensadoras (vending)
  - Venta por correo.
- **Comercio electrónico (e.Commerce: B2C)**
  - Más que solo comprar y vender productos en línea.
  - Abarca todo el proceso en línea de:
    - Desarrollo, marketing, venta, entrega, servicio y pago de productos y servicios.
    - Negociados en mercados globales interconectados de clientes.
    - Con el apoyo de una red mundial de socios de negocio.
  - Categorías de comercio electrónico:
    - De empresa a consumidor (B2C – Business to Consumer): Las empresas deben desarrollar mercados electrónicos atractivos para vender productos y servicios a los consumidores.
    - De negocio a negocio (B2B – Business to Business): Involucra mercados de negocio electrónico y vínculos directos entre empresas.
    - De consumidor a consumidor (C2C – Consumer to Consumer): Acciones en línea por la que los consumidores pueden comprar y vender entre ellos mismos.

## 12.9 NUEVAS TENDENCIAS:

Desde sus inicios la actividad económica ha fijado los conceptos de gestión en el sentido de Proveedor a Cliente. Se ha trabajado diseñando productos, envases, embalajes, gestionando procesos productivos, comerciales, distributivos, etc. Hasta que el bien llega a manos del consumidor.

Hasta la fecha actual, la mayoría de los fabricantes han tenido la tendencia de ignorar el destino final de sus productos cuando éstos terminaban su vida útil, no se sentían responsables de lo que ocurría con el producto después de su utilización por el consumidor.

En consecuencia, se observa la necesidad de plantear una nueva cultura empresarial que tenga en cuenta en sus estrategias, diseños y procesos productivos, aspectos tales como el consumo de energía y materias primas, la cantidad y tipo de materiales usados, la emisión de sustancias contaminantes o la generación de residuos.

- **Logística inversa:**

Podemos definir la logística inversa como el proceso de planificación, implantación y control de una forma eficiente, del flujo de materias primas, los materiales en curso de fabricación y los productos terminados, así como de la información relacionada **desde el punto de consumo hasta el punto de origen**, con el objetivo de recuperar el valor de los materiales o asegurar su correcta eliminación.
- **Logística verde:**

Es el proceso de reducir al mínimo el impacto ecológico de la logística.

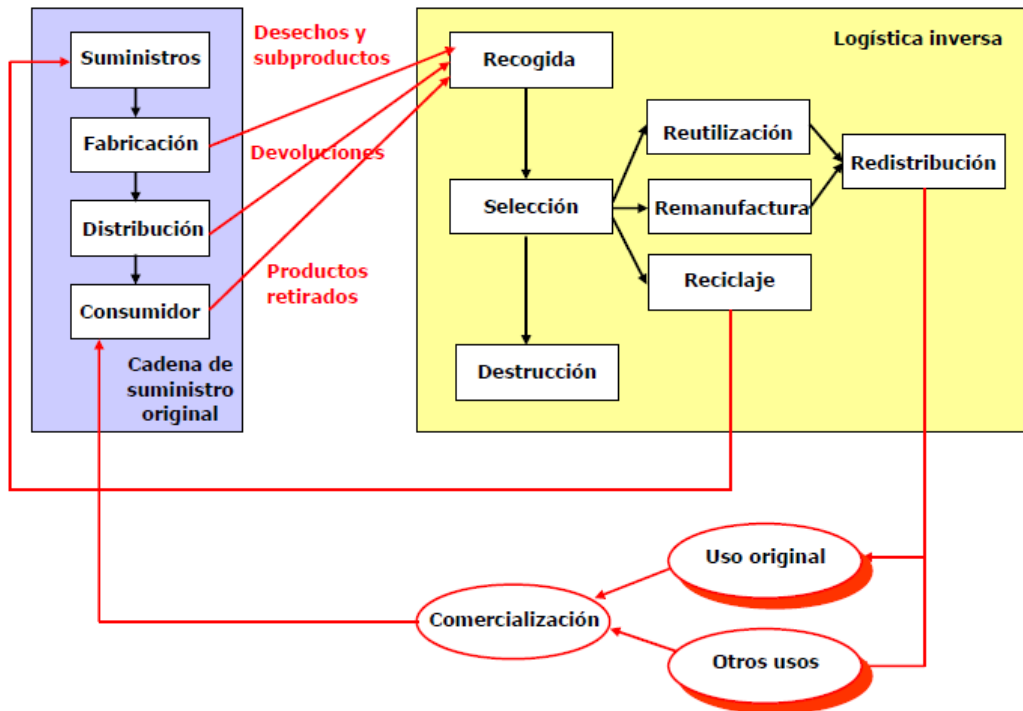
  - Fabricación respetuosa con el entorno, en todas las etapas del proceso productivo.
  - Diseño del producto (I+D)

- Diseño ecológico o diseño verde y codiseño, reduciendo la variedad de materiales que componen el producto y maximizando la utilización de materiales reciclables o componentes recuperables.
- Utilización de tecnologías limpias durante el proceso de fabricación.
- Proceso logístico de distribución. Transporte, envases y embalajes.
- Responsabilidad Social Corporativa.

- **Devoluciones:**

Una de las causas importantes que genera la logística inversa de productos son las devoluciones.

El flujo de devolución de los productos desde el distribuidor hasta el fabricante a través de la cadena de suministro o mediante otros medios, representa una gestión específica que puede generar una alta complejidad y que exige idéntica atención que el proceso logístico normal.



- **Un ejemplo de logística inversa: El punto verde**

El punto verde es el símbolo que acredita en España la pertenencia al Sistema Integrado de Gestión de Envases de Ecoembes. Desde la entrada en vigor de la Ley 11/97 de Envases y Residuos de Envases, todas las empresas envasadoras tienen la obligación de recuperar los residuos de envases de los productos que pongan en el mercado para que sean reciclados y valorizados. Las empresas, para cumplir con su responsabilidad, pueden acogerse al Sistema Integrado de Gestión de Residuos de Envases (SIG) de Ecoembes.

Este sistema de gestión se distingue por un símbolo. A este símbolo se le llama Punto Verde:



- **Otro ejemplo: Directiva 2002/96/EC**

La directiva tiene por objetivo, en primer lugar, prevenir la generación de residuos eléctricos y electrónicos (RAEE) y, además, la reutilización, el reciclado y otras formas de valorización de dichos residuos, a fin de reducir su eliminación. Asimismo, se pretende mejorar el comportamiento medioambiental de todos los agentes que intervienen en el ciclo de vida de los aparatos eléctricos y electrónicos, por ejemplo, los productores, distribuidores y consumidores y, en particular, de aquellos agentes directamente implicados en el tratamiento de los residuos derivados de estos aparatos.

