



Universidad nacional de La Plata
Facultad de Ingeniería

Área Departamental Mecánica

Cátedra Proyecto Integral de Plantas I

INGENIERÍA DE MANUFACTURA

Autor: Ing. Pablo Moreda



Año 2020



INDICE

INTRODUCCIÓN.....	4
LA EMPRESA COMO SISTEMA	4
ENTORNO ACTUAL.....	5
DEFINICIONES	6
TIPOS DE PRODUCCIÓN.....	6
GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN.....	8
ENFOQUE CLÁSICO:	8
NUEVO ENFOQUE:	9
PRODUCCIÓN AJUSTADA = MANUFACTURA ESBELTA = LEAN MANUFACTURING.	9
¿QUÉ ES UN PROCESO PRODUCTIVO?.....	12
DISEÑO DEL PROCESO PRODUCTIVO	13
SECUENCIA PARA EL DISEÑO	13
SELECCIÓN DEL TIPO DE PRODUCCIÓN	14
REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL PROCESO.....	14
IDENTIFICACIÓN DE LAS ACTIVIDADES QUE NO AGREGAN VALOR	17
SELECCIÓN DE MÁQUINAS Y EQUIPOS	18
BALANCEO DE LÍNEA	19
INDUSTRIA DE PROCESOS.....	21
INTRODUCCIÓN	21
PARTICULARIDADES DE LAS INDUSTRIAS DE PROCESO	22
BALANCE DE MASA	22
BALANCE ENERGÍA.....	23

SELECCIÓN / ESPECIFICACIÓN DE EQUIPOS..... 23

NOTAS SOBRE CALIDAD.....26

DEFINICIONES26

VARIABILIDAD DE UN PROCESO PRODUCTIVO 27

CAPACIDAD DE UN PROCESO..... 27

GLOSARIO28

BIBLIOGRAFÍA30



INTRODUCCIÓN

El diseño y la implantación de procesos de producción supone, hoy más que nunca, una problemática cuyo planteamiento correcto y solución optimizada son de suma importancia estratégica para la empresa. Para ésta el objetivo básico es producir los productos que más satisfagan a su mercado y obtenerlos con la máxima calidad y a un costo y tiempo de respuesta mínimos. En tal sentido Lluís Cuatrecasas señala:

“El área de operaciones o de producción que, con frecuencia quedaba excluida de las estrategias clave de la dirección de las empresas, constituye hoy un ámbito de gestión empresarial”. Y añade: “la razón de la importancia estratégica de la producción es bien simple: en los procesos de producción es donde la empresa genera su mayor o menor “valor añadido”, fuente del beneficio que podrá obtener la misma.”¹

En el contexto actual, la Misión y las Funciones del Sub-sistema de Producción deben contribuir a cumplir con la Misión corporativa.

En este sentido, deben asegurar:

- CALIDAD TOTAL
- RENTABILIDAD
- CREACIÓN DE VALOR AÑADIDO PARA EL CLIENTE

LA EMPRESA COMO SISTEMA

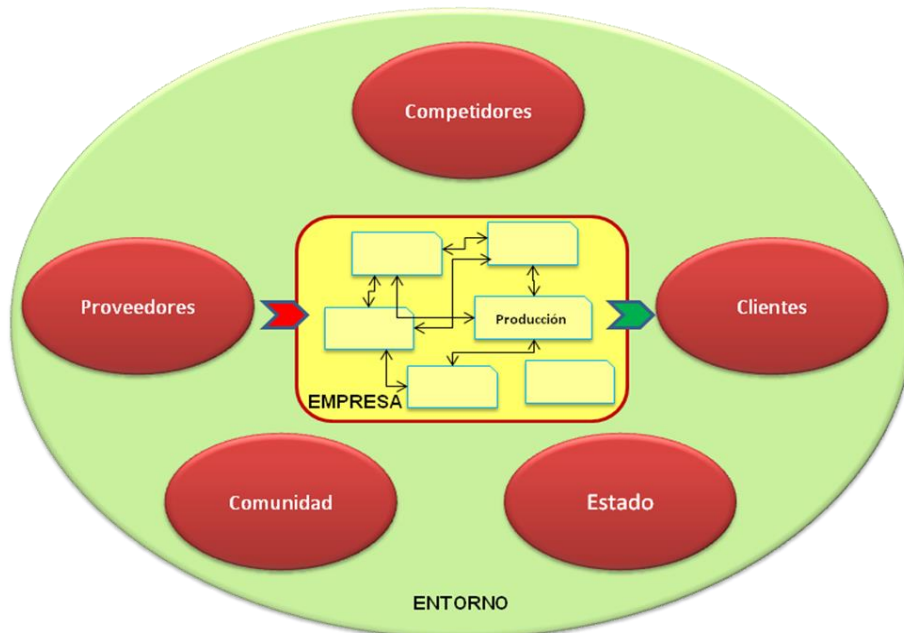


Fig. nº 1 – La Empresa, visión sistémica

¹ Cuatrecasas Lluís– “Diseño avanzado de procesos y plantas de producción flexible” – Profit – Barcelona 2009

ENTORNO ACTUAL

Durante el siglo XX, las empresas han gestionado la producción teniendo como objetivo central la Productividad; de ahí que hicieran denodados esfuerzos por conseguir el máximo de eficiencia en cada operación de forma individual, aplicando conceptos de la economía de escala. Esa manera de gestionar dio muy buenos resultados en aquel contexto.

La **globalización**, las nuevas tecnologías de la comunicación, los cambios en las prácticas sociales y en los hábitos de consumo, entre otros factores, configuraron un nuevo escenario caracterizado por:

- ❖ Pluralidad de oferentes
- ❖ Diversidad de oferta de productos similares o sustitutos para cubrir una misma necesidad.
- ❖ Competencia a nivel global.
- ❖ Clientes que investigan y se informan antes de decidir la compra. (El “Momento de la verdad” empieza mucho antes de que el cliente llegue a la góndola).
- ❖ Ciclo de vida cada vez más corto; esto genera la necesidad de cambios cada vez más rápidos en el producto o servicio.
- ❖ Clientes que demandan mayor Calidad, productos personalizados y servicio post venta.
- ❖ Clientes que demandan rapidez en las entregas.
- ❖ Clientes “menos fieles” (la tarea de fidelización de clientes es cada vez más ardua; requiriendo grandes esfuerzos de creatividad en desarrollos de programas).
- ❖ Mayor “presión” social en temas relacionados al cuidado del medio ambiente, al impacto que produce la actividad productiva en las comunidades, demanda de sistemas productivos sustentables desde el punto de vista ecológico. Cada vez cobra mayor protagonismo la Responsabilidad Social Empresaria.
- ❖ Normativas y regulaciones más estrictas en temas relacionados con el medio ambiente, la salud, seguridad e higiene en el ámbito laboral.

Frente a este entorno, la Empresa, y particularmente el sub-sistema de Producción ya no pueden ser gestionados de manera tradicional (válido para entornos que existieron en el pasado). Es necesario nuevos modelos que consideren las particularidades del Mercado actual; donde el objetivo se centra en la **satisfacción del Cliente**. Para lo cual los modelos de producción que se implementen deben asegurar: **variedad de productos, flexibilidad, innovación, calidad y rapidez en la entrega**; y todo esto a **costos mínimos y máxima productividad**. Así surge el concepto de Producción Ajustada (**Lean Manufacturing**), el cual se detallará más adelante.

En la siguiente tabla se muestra una comparación entre las características de los dos modelos:

PRODUCCIÓN CONVENCIONAL (en masa)	PRODUCCIÓN AJUSTADA
Grandes lotes de producción y transferencia	Producción ajustada a la demanda. Flujo “pieza a pieza”
Stock en proceso en todas las operaciones	Sin stock entre operaciones
Puestos independientes operando al máximo de su	Puestos sincronizados operando en flujo regular



capacidad (gestión centrada en las operaciones)	(gestión centrada en el proceso)
Lead time muy largos debido al tamaño de lote	Lead time reducidos
Personal altamente especializado (según el tipo de operación)	Personal polivalente
Programación de la producción según requerimiento de materiales (MRP) teniendo en cuenta la capacidad máxima de cada operación.	Programación de la producción de acuerdo con la necesidad de la demanda (Just in Time)
Mantenimiento basado en reparaciones	Mantenimiento autónomo (con intervención del operario) – T.P.M (Total Productive Maintenance)

Tabla nº 1 – Comparación entre producción “en masa” y “ajustada”

DEFINICIONES

La **Producción** es una actividad económica de la empresa, cuyo objetivo es la obtención de uno o más productos o servicios para satisfacer la necesidad de los consumidores. Dicha actividad se lleva a cabo por medio de la ejecución de un conjunto de operaciones integradas en procesos.

La **Ingeniería de Manufactura** es una función que lleva acabo el personal técnico, y está relacionado con la planeación de los procesos de manufactura para la producción económica de productos de alta calidad. Su función principal es preparar la transición del producto desde las especificaciones de diseño hasta la manufactura de un producto físico (Luis Echeverría)

De forma sintética, se podría decir que la Ingeniería de Manufactura establece CÓMO?, CUÁNDO? Y CON QUÉ? producir un determinado producto o familia de productos.

¿CÓMO?: Definición del Método o Procesos / Operaciones.

¿CUÁNDO?: Ordenamiento secuencial de las diferentes etapas que conforman el Proceso

¿CUÁNTO?: Cantidades a producir de cada producto para satisfacer en tiempo y forma a la demanda.

¿CON QUÉ?: Selección de la tecnología, máquinas y equipos necesarios para llevar a cabo la producción en las cantidades requeridas por el Programa Maestro de Producción y con los estándares requeridos por el diseño del producto.

La ingeniería de manufactura incluye muchas actividades y responsabilidades, entre las que se pueden citar:

- 1) Planeación de los procesos
- 2) Solución de problemas y mejoramiento continuo.
- 3) Diseño para capacidad de manufactura.

TIPOS DE PRODUCCIÓN

La variedad en los tipos de productos y procesos productivos, sugiere que existan formas o estrategias de producción más adecuadas que otras para fabricarlos.



La clasificación tradicional de los sistemas de producción se basa en la **trayectoria de las salidas** (*outputs*) del sistema propiamente dicho o de acuerdo a al tipo de **acción tecnológica** de transformación (Función de Transferencia). Según estos criterios, tenemos:

- **Producción funcional a medida (*job shop*) o por Proyectos Especiales:**

Este tipo de producción es apropiada cuando la variedad de productos es alta, de poca o nula estandarización: son productos a medida; los cuales una vez obtenidos, quizás no se vuelvan a fabricar.

La acción tecnológica que transforma los insumos en productos cambia en el tiempo de acuerdo a cada proyecto contratado.

La maquinaria suele ser de “uso general” (tornos, agujereadoras, soldadoras, fresadoras, etc.), agrupándose en centros de trabajo según la función que desarrollan.

Ejemplos de éste tipo de producción pueden ser: la fabricación de barcos, aviones, componentes para centrales hidroeléctricas, equipos especiales para una determinada industria, etc.

- **Producción funcional en lotes (*batch*) o contra-pedido:**

La producción funcional por lotes, tradicionalmente conocida como contra-pedido, era utilizada (aunque en la actualidad se sigue usando, hay enfoques más modernos que la tornan más eficiente) cuando el producto a fabricar tenía varias versiones o modelos diferentes; generándose gran variedad de productos y lotes de producción de tamaño variable. La salida de cada producto muestra valores discontinuos y concentrados a lo largo del calendario (Lotes).

Las características básicas de este tipo de producción son: muchas actividades de transporte y manipulación, largos recorridos del producto, elevados stocks en proceso y consecuentemente, largos tiempos de entrega.

Como ejemplos se puede citar: la fabricación de grifería, motores eléctricos de diferentes potencias, aberturas (puertas y ventanas de diferentes modelos y medidas), etc.

Actualmente, este tipo de producción son reemplazados por : **Producción Ajustada (*Lean Manufacturing*)**, o **Sistemas de Fabricación Flexibles (*Flexible Manufacturing Systems* (FMS))**. La característica de estos últimos es el alto grado de automatización empleado. Se basan en sistemas CAD y CAM, o en la integración de ambos lo cual se conoce como CIM (ver definiciones en el glosario).

- **Producción en flujo (*flow shop*) o por Fabricación y Montaje:**

Esta modalidad se adopta cuando la variedad de productos es baja pero técnicamente homogéneos y altamente estandarizados.

La Función de transferencia permanece constante por largos períodos de tiempo. No cambian las especificaciones de los productos ni de las maquinarias durante ese período.

Las máquinas y equipos, que suelen ser especializados para cada tipo de operación, se disponen en flujo (línea o cadena de producción).

Las estaciones o puestos de trabajo deben encontrarse equilibrados en cuanto a los tiempos de operación, para evitar paros o interrupciones en la línea.

Ejemplos de éste tipo de producción son: la fabricación de automóviles, electrodomésticos, etc.

- **Producción Continua o en flujo continuo:**

Cuando la variedad de productos es muy pequeña o nula (producto único) y los volúmenes de producción (*outputs*) son elevados, se opta por este tipo de producción.

Cada máquina o equipo está diseñado para una función específica.

Las industrias que operan bajo esta modalidad son las conocidas como “**Industrias de Proceso**”



Se pueden distinguir dos sub-grupos dentro de la producción continua:

- **Producción Continua Contra-Stock:** Salida de productos uniforme todo el año. Se admiten variaciones diarias, mensuales o estacionales de demanda. Por ejemplo: cables, cal hidráulica, bebidas, etc.
- **Producción Continua Modulada:** Producción de productos que no se pueda o convenga almacena, como por ejemplo: combustibles, energía eléctrica, etc.

GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN

Habitualmente, cuando se aborda el tema de la Producción, se suele centrar el análisis en las operaciones, su secuencia, y en las máquinas necesarias. Es común escuchar por parte de dueños o gerentes de empresas: *“decime qué máquinas tengo que comprar”*.

Algo similar ocurre cuando se realizan estudios de capacidad de producción en instalaciones ya existentes: muy frecuentemente se suele resolver la necesidad de aumentar el nivel de producción adquiriendo más máquinas o de mayor tasa de producción.

En ninguno de los casos se atiende a las ventajas que puede proporcionar un cambio de **Método o Estrategia de Producción**, sin que esto involucre mayores inversiones en nuevos equipos.

Las ventajas competitivas que puede proveer la tecnología o la máquina más moderna pueden verse afectadas si se implementan en sistemas de producción cuyas estrategias no respondan a las necesidades actuales de los clientes.

ENFOQUE CLÁSICO: **Enfoque en las operaciones:**

Gestionar los procesos productivos, elaborando los productos en grandes lotes, con máquinas de gran capacidad y un fuerte nivel de automatización, distribuyendo las responsabilidades de la ejecución de los procesos entre distintos departamentos o áreas, que se ocupan de optimizar su “parcelas”.

Las empresas con este tipo de enfoque fabrican bajo **“Sistemas Push”**: la producción se organiza en lotes según un **Plan Maestro de Producción**, determinado a partir de la demanda estimada. El producto es **“empujado”** (push) desde las operaciones hacia el Cliente. El tamaño de los lotes varía en cada operación o proceso, según la productividad individual (lote económico).

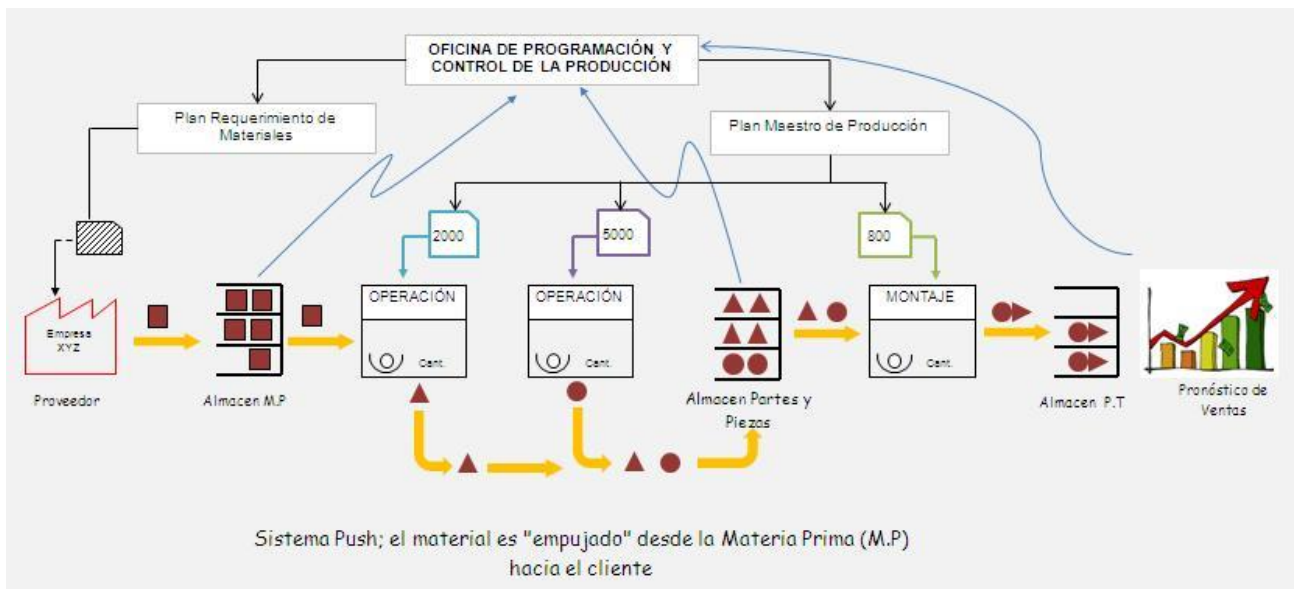


Fig. nº 2 – Sistema de fabricación tipo Push.

NUEVO ENFOQUE: **Enfoque en los Procesos:**

Comprender el nuevo papel de la fabricación significa considerar esta función como algo más que la mera transformación de materias primas y componentes en productos, utilizando capital y mano de obra. [...] Debería ser vista como un **medio para añadir más valor para el cliente** de la manera más productiva posible. [...] en este contexto, la **Productividad** ya no puede ser concebida como la máxima cantidad de rendimiento con el nivel más bajo de recursos; sino que se trata de **responder de la mejor manera a las necesidades del cliente a través de un inteligente despliegue de recursos**. (Arnoud de Meyer; Avivah Wittenberg-Cox – “Nuevo enfoque de la función de Producción” – Folio – Barcelona 1994).

El CLIENTE es el objetivo principal. El flujo de valor que permite llegar hasta él debe preservarse de cualquier despilfarro. Liberándolo de barreras de cualquier tipo.

Dentro de los modelos de producción que responden a este nuevo enfoque, se encuentran la Manufactura Esbelta (Producción Ajustada) y los basados en la teoría de restricciones (*T.O.C: Theory of Constraints*).

Esta última constituye un paso previo en la transición hacia una gestión por procesos; un “estado” intermedio entre la producción convencional (en masa) y la producción ajustada (*Lean manufacturing*).

Parte del principio de que el tiempo de ciclo del proceso es el de su “cuello de botella”, y establece que el ritmo de todas las operaciones será el de éste. De esta manera se evita acumulación de material en proceso antes del cuellos de botella y esperas “aguas abajo” de éste. Si se desea aumentar el ritmo de producción (disminuir el tiempo de ciclo), será necesario aumentar la capacidad del “cuello de botella”.

Las empresas con este tipo de enfoque organizan su producción mediante “**Sistemas Pull**”; cuyas características se explican en el apartado siguiente.

PRODUCCIÓN AJUSTADA = MANUFACTURA ESBELTA = LEAN MANUFACTURING.

Tiene sus orígenes en el “**Sistema Toyota**” creado por Taiichi Ohno en la década de 1960. Luego se popularizó mundialmente como “Lean Manufacturing” (James P. Womack y Daniel Jones – 1987).

La denominación de “*Ajustada*” hace referencia a “*ajustada a la Demanda*”, esto significa: **producir sólo lo que el cliente necesita, cuando lo necesita y en la cantidad que necesita**. Confiriéndole al producto únicamente aquellos atributos que el cliente les otorga *valor*, es decir, por los que está dispuesto a pagar.

Para poder responder de forma ágil y eficiente a las necesidades de los clientes, es necesario eliminar todos los obstáculos que dificulten el *flujo* entre la materia prima y el producto terminado. Estos obstáculos se denominan *Desperdicios o Despilfarros (Wastes)*; y están constituidos por todas aquellas actividades que no agregan valor al producto o servicio y que no son necesarios para el proceso. De ahí que también se la denomine “*Manufactura Esbelta*”: magra (*Lean*), es decir, libre de desperdicios o despilfarros.

Taiichi Ohno reconoció siete tipos de desperdicios (wastes):



Fig. nº 3 – Lean Manufacturing: “Desperdicios” – Néstor Gavilán, Oriol Cuatrecasas – Fundamentos Lean.

1_Corrección: Los productos defectuosos originarán re-trabajos para corregir los defectos o scrap (producto que debe ser descartado). Además del costo asociado a la *No Calidad*, se le suma la interrupción del proceso de producción: parada de las líneas de producción que se encuentran “aguas abajo”, retraso en las líneas de ensamble, faltantes (incumplimiento con los clientes) y la necesidad de reprogramar nuevos órdenes de trabajo.

2_Movimiento de material: Una mala organización del sistema de producción, un diseño de procesos y una distribución en planta mal planificados, puede dar como resultado movimientos de materiales innecesarios y largas distancias recorridas.

3_Movimiento de personas: Al igual que en el caso anterior, una inadecuada Ingeniería de Manufactura y una distribución de planta mal diseñada, implicará que el personal deba desplazarse largas distancias para buscar herramientas, materias primas o documentos/información.

4_Espera: Un proceso con operaciones desbalanceadas generará acumulación de material en algunas estaciones de trabajo y “tiempos muertos” en otras. Esto da como resultado un mayor *lead time*.

Las esperas se pueden generar también por un sistema de abastecimiento de materiales descoordinado o defectuoso.

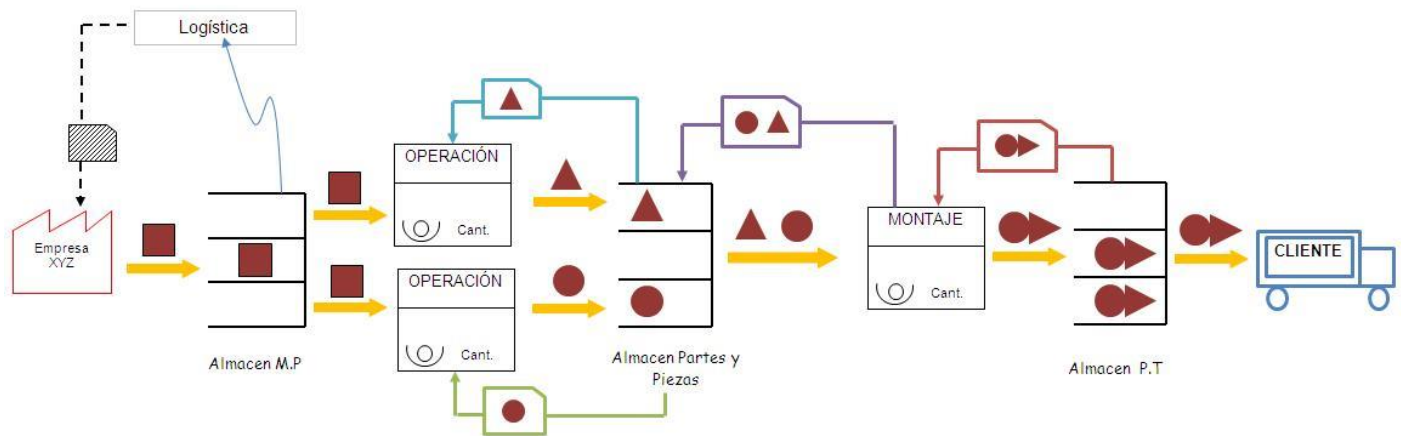
5_ Inventarios: La generación de stocks implica: capital inmovilizado, gastos en gestión, transportes de materiales, espacio físico ocupado. Muchas veces, la existencia de productos en stock no asegura que se tendrá disponible exactamente el producto que el cliente requiere; careciendo de sentido todos los gastos en que se incurrió para tener productos almacenados.

6_ Procesamiento (sobrepesamiento): Aquellas características / atributos que se le confieran al producto pero que no sean percibidos como *valor* por los clientes, aumentará el costo del producto y no reportará ningún beneficio.

7_ Sobreproducción: La producción en exceso implica anticipar producto no solicitado aun por el Mercado. Esto implica gastos de energía, materias primas, mano de obra, gestión de stock, ocupación de espacio físico, utilización de máquinas y equipos de manera innecesaria.

Al tratarse de un sistema de producción ajustado a la **Demanda**, es ésta quien **dice cuándo y cuánto hay que producir**. Contrariamente a los sistemas de producción tradicionales, no existen Programas Maestros de Producción, sino que es la propia Demanda la que “dispara” las órdenes de producción. El producto es “traccionado” a través del sistema de producción por la necesidad de los clientes. A este tipo de sistemas se los denomina “**Sistemas Pull**”.

Lean Manufacturing no es una técnica o una metodología particular sino un sistema de gerenciamiento de los procesos productivos; que involucra varias técnicas: Just in Time, T.P.M, S.M.E.D, 5’s, Gestión Visual, estandarización de procesos y productos, sistemas Poka-Yoke. Por tal motivo, es más adecuado referirnos a él como **Lean Management**.



Sistema Pull; el material es "jalado" desde el Cliente

Fig. nº 4 – Sistema de fabricación tipo Pull.

¿QUÉ ES UN PROCESO PRODUCTIVO?

¿Qué es un proceso?

Norma ISO 9000: Un proceso es un conjunto de actividades mutuamente relacionadas que interactúan, las cuales transforman elementos de entrada (inputs) en resultados (outputs).



Fig. nº 5 – Proceso.

PROCESO PRODUCTIVO

Según la definición anterior, un proceso productivo se puede pensar como una secuencia ordenada de acciones (etapas), en los que producen cambios físicoquímicos para transformar la materia prima en un producto terminado.

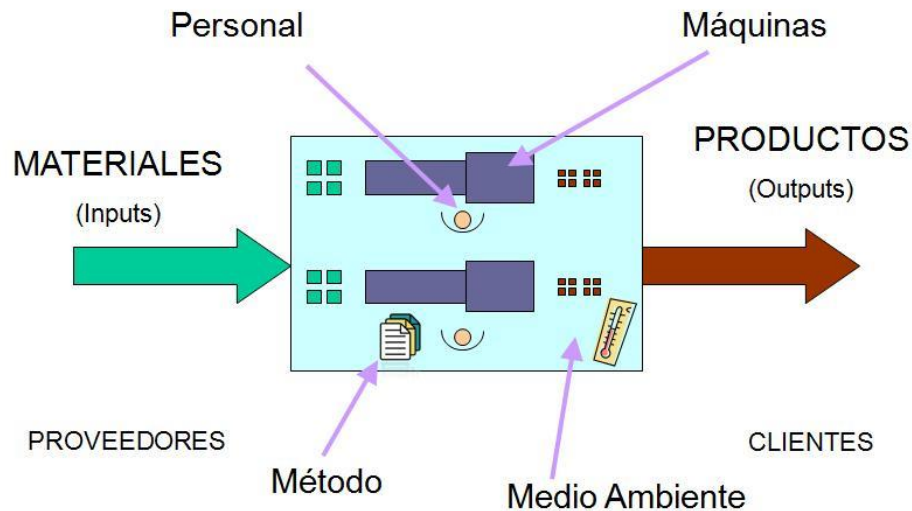


Fig. nº 6 – Proceso Productivo.

Las actuales condiciones de mercado imponen que se centre la atención en el cliente, lo que nos conduce a establecer nuevas definiciones:

Output (salidas)= productos y servicios que satisfacen al cliente

Input (entradas) = recursos utilizados inteligentemente

Productos = productos + servicios

En base a esto, Arnoud de Meyer y Avivah Wittenberg-Cox proponen que el indicador utilizado para medir la productividad sea redefinido: “*La productividad (output/input) no debería ser medida en función de criterios internos sino que debería estar basada en la satisfacción del cliente.*”²

Como resultado del paso por las diferentes etapas del proceso, la materia prima y los productos intermedios desarrollan ciertas propiedades que definirán las características del producto final.

En cada etapa del proceso existen variables (presión, temperatura, caudal, velocidad, etc.) que la “gobiernan” y sobre las que se puede actuar para conferirle al producto determinadas características y/o obtener determinados niveles de performance de máquinas y equipos. Estas variables las llamaremos **Parámetros de Proceso**.

Los parámetros de proceso tienen influencia directa en la calidad del producto. El seguimiento del estado de los parámetros se realiza a través de los **controles de etapa** (Ej.: control de la temperatura, control de la presión, etc.)

DISEÑO DEL PROCESO PRODUCTIVO

SECUENCIA PARA EL DISEÑO

- Selección del tipo de producción
- Selección de la tecnología
- División del Proceso en operaciones y/o tareas.
- Identificación de los parámetros que “gobiernan” cada etapa. Es decir aquellas variables que tienen incidencia en la calidad del producto o en etapas posteriores.
- Representación del Proceso: Construcción del Diagrama de Flujo / Diagrama de Proceso.
- Balance de masas (Materia Prima – Insumos – Subproductos – Desechos)
- Determinación de los tiempos de cada operación.

- Identificación de las actividades que no agregan valor (recordar: “crear valor añadido para el cliente”).
- Reducción de las Actividades que no agregan valor. Evaluación de diferentes alternativas. Selección de la mejor.
- Balanceo de Línea: Determinación del Tiempo de Ciclo “natural”. Determinación del Takt Time.

² Arnoud de Meyer; Avivah Wittenberg-Cox – “Nuevo enfoque de la función de Producción” – Folio – Barcelona 1994

SELECCIÓN DEL TIPO DE PRODUCCIÓN

Una herramienta útil para la selección del Proceso en función del tipo de producto y los volúmenes de producción asociados, es la **matriz Producto – Proceso**.

PROCESO		PRODUCTO					
		Variedad Volumen	Muy elevada Muy bajo	Bastante elevada Bajo	Elevada Medio	Media Elevado	Bajo o muy bajo Muy elevado
Orientación al Proceso	Ciclo controlado x operario	Puestos fijos: Unidades diferenciales	FUNCIONAL A MEDIDA (Job Shop)				
		Funcional: Lotes		FUNCIONAL POR LOTES			
Orientación al Producto	Ciclo automatizado	Línea: Flujo unidad x unidad	PRODUCCIÓN AJUSTADA (Lean)		LÍNEA O CADENA (Flow Shop) Ciclo tiempo operativo		
			SISTEMAS DE FABRICACIÓN FLEXIBLES (FMS)		LÍNEA O CADENA (Flow Shop) Automatizada / Robotizada		
		Flujo continuo:					FLUJO CONTINUO
Características de competitividad			Innovación	Flexibilidad	Funcionalidad	Calidad	Costo Plazos

Fig. nº 7 – Matriz Producto-Proceso.

REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL PROCESO

Diagrama de Proceso (*Flow Sheet*)

Representación gráfica de las actividades, ordenadas en forma secuencial, y del flujo de materiales e información, entre las diferentes etapas que componen un proceso.

Se genera en la etapa de Ingeniería básica, y provee toda la información necesaria para la selección o diseño y construcción de máquinas y equipos; como así también establece las condiciones de operación de la Planta.

Tipos de diagramas de proceso:

Existen varias formas de diagrama de procesos:

- **Diagrama de bloques:** en este tipo de diagrama se representan sólo las operaciones mediante bloques. Se puede complementar con información adicional: estado del producto en proceso, insumos requeridos por la operación, desechos o subproductos generados por ésta, cantidades, etc. (ver fig. nº 8 y 9)
- **Diagrama de bloques normalizados:** en este tipo de diagrama se representa el proceso mediante bloques o símbolos bajo norma ASME. Este tipo de diagrama permite visualizar, además de las operaciones, el movimiento de materiales, las demoras, los controles y los almacenajes. Permitiendo ver de forma más “dinámica el proceso”. Se puede complementar con información sobre tiempos de operación, distancias recorridas, tiempo de demora, etc. (ver fig. nº 10)

En las figuras siguientes se puede observar el mismo proceso de fabricación de mermelada, representado con los dos tipos de diagramas explicados anteriormente.

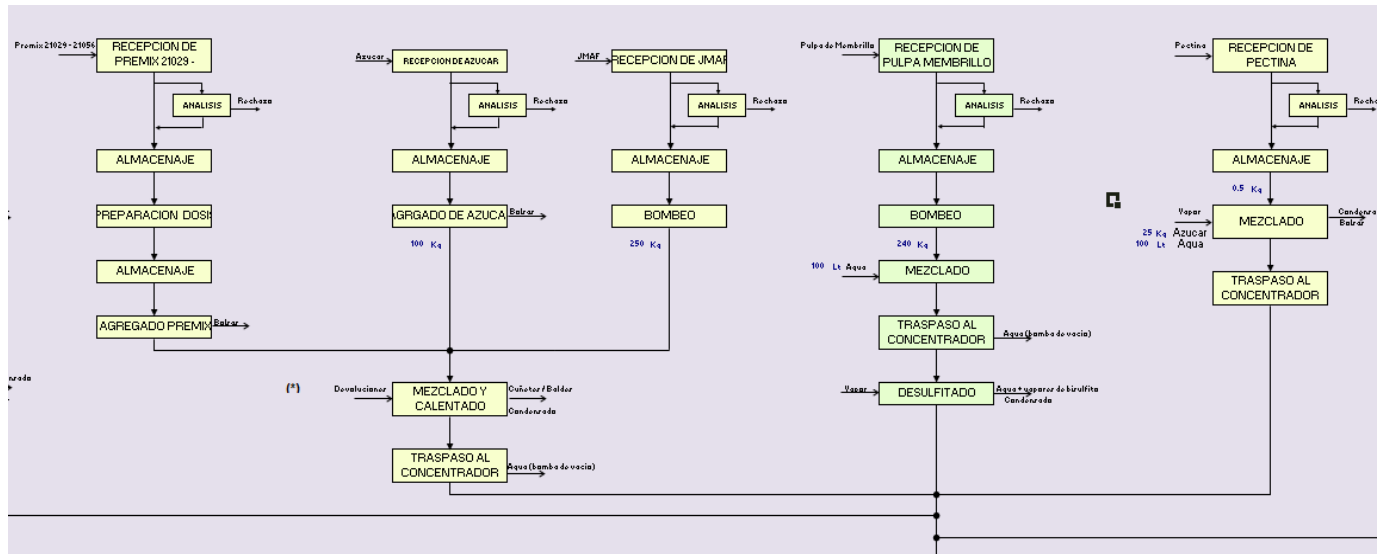


Fig. nº 8 – Diagrama de Proceso: fabricación de mermelada. Diagrama de bloques.

Estructura típica de bloque:

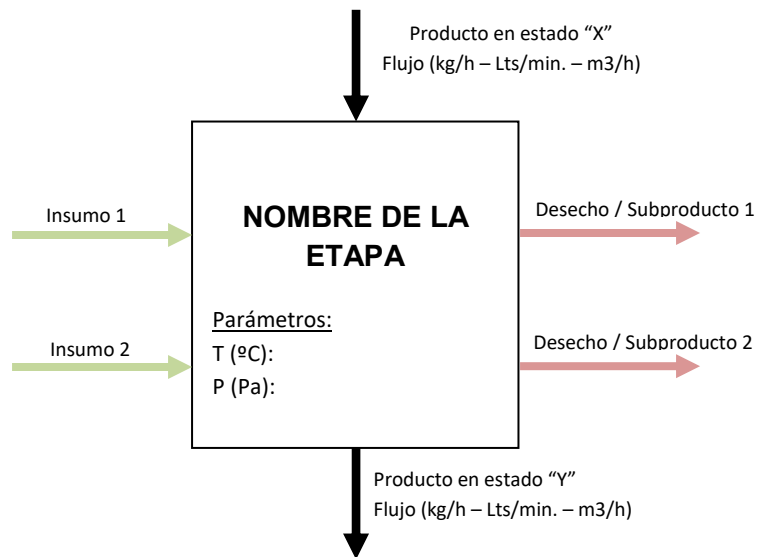


Fig. nº 9 – Diagrama de Proceso: estructura de un bloque modelo.

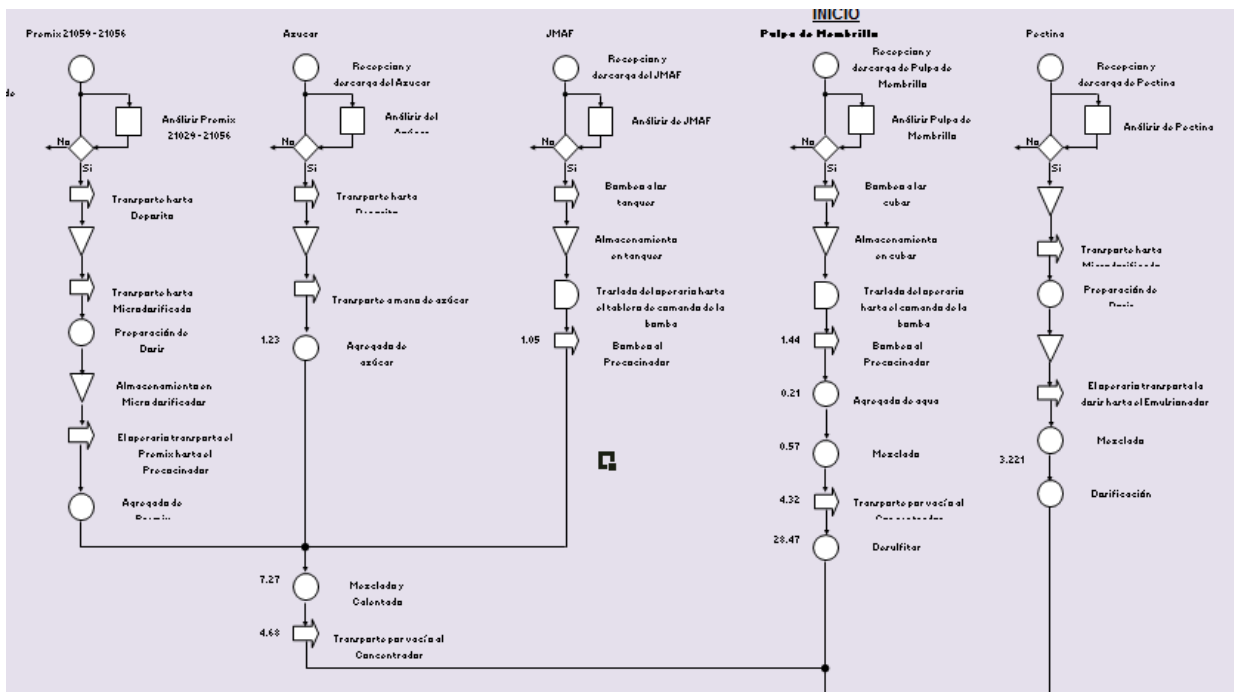


Fig. nº 10– Diagrama de Proceso: fabricación de mermelada. Diagrama de bloques según ASME.

Símbolos:

- Operación
- Inspección
- ▽ Almacenaje
- D Demora
- ⇒ Transporte

- **Diagrama de flujo:** El proceso se presenta en forma de esquema, utilizando símbolos que representan los distintos equipos que intervienen. Se puede complementar con datos referidos a los balances de masa y energía y otros datos del proceso. Es muy empleado en las *Industrias de Proceso*. (ver fig. nº 11)

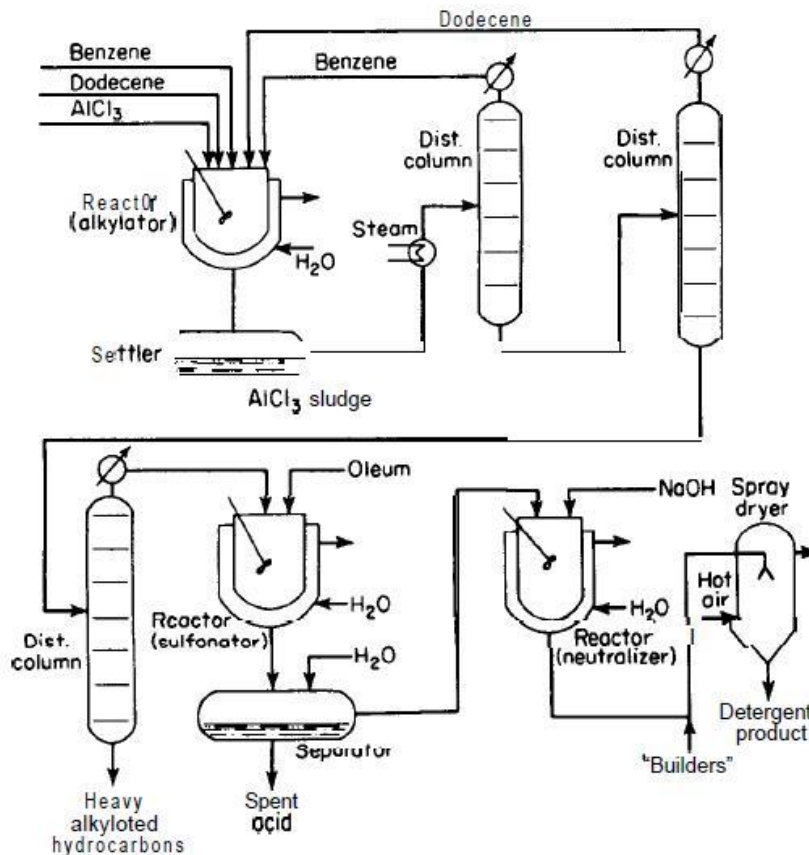


Fig. nº 11 – Diagrama de flujo: producción de dodecibenceno sulfonato sódico. - Max S. Peters, Klaus D. Timmerhaus – “Diseño de plantas y su evaluación económica para ingenieros químicos.”

IDENTIFICACIÓN DE LAS ACTIVIDADES QUE NO AGREGAN VALOR

En todo proceso productivo se pueden distinguir tres (3) tipos de actividades:

Actividades con valor añadido: actividades que convierten o transforman los materiales o la información de manera que se adapten a las necesidades de los clientes y por las cuales éstos están dispuestos a pagar por ellas. Este tipo de actividades se deben *optimizar*

Actividades sin valor añadido: actividades necesarias para llevar a cabo el proceso pero que no contribuyen a agregar valor al producto o servicio (ejemplo: transportes, inspecciones, stocks, demoras, etc.). Este tipo de actividades se deben *reducir*.

Desperdicios: actividades que no agregan valor al producto o servicio y que no son necesarios para el proceso. Este tipo de actividades se deben *eliminar*.

SELECCIÓN DE MÁQUINAS Y EQUIPOS

FACTORES DE DECISIÓN

Capacidad necesaria en función de la demanda: La capacidad de producción (unidades/min.; kg/hora; etc.) debe ser lo más ajustada posible al nivel de demanda. Esto dará por resultado una inversión inicial menor y evitará tener “capacidad ociosa”. Si se necesitara capacidad adicional, por un incremento eventual de la demanda, ésta puede conseguirse con horas extras o un turno adicional. (ver fig n° 12.)

- **Niveles de Calidad requeridos:** El equipo o máquina seleccionado debe ser capaz de fabricar el producto con la calidad definida por la Ingeniería de Producto, es decir, debe asegurar las dimensiones, tolerancias, parámetros, atributos, etc.
- **Flexibilidad:** Es necesario analizar la “facilidad” con que la máquina o equipo puede adaptarse a cambios en la Demanda: cambios de formato del producto, posibilidad de fabricar un nuevo producto o integrar una nueva línea de producción.
- **Crecimiento proyectado:** La máquina o el equipo seleccionado debería asegurar que se puede cumplir con los volúmenes de producción proyectados, al menos por un período de tiempo superior a la amortización del mismo. Esto es particularmente necesario en las industrias de procesos (químicas o petroquímicas) donde el cambio por un equipo de mayor capacidad puede significar la modificación total o parcial de la planta.
- **Disponibilidad de repuestos / Asistencia técnica / Servicio Post-Venta / Garantía:** No basar la decisión de compra sólo por el costo del equipo. Asegurarse que ante una eventual falla se contará con repuestos y asistencia técnica de forma rápida. El costo por “lucro cesante” suele ser elevado.

Desde hace menos de una década ha comenzado a nivel mundial una transformación conocida como la 4ta Revolución Industrial: la Industria 4.0, la “Fábrica Inteligente”. Esto implica que a la hora de seleccionar máquinas y equipos, además de los factores enumerados anteriormente, se deben considerar:

- **Conectividad y transmisión de datos:** Las máquinas y equipos deben poder “comunicarse” con otras máquinas y equipos, para conformar sistemas de producción integrados y autónomos. Además, deben ser capaces de enviar y recibir datos que permitan su monitoreo, y operación de forma remota y en tiempo real. Para ello es necesario que cuente con los dispositivos necesarios, y que éstos cumplan con los protocolos y estándares internacionales de comunicación. (para más detalle, leer “La 4ta Revolución Industrial: la industria 4.0” – apunte de la Cátedra P.I.P I y II – Ing. Pablo Moreda).



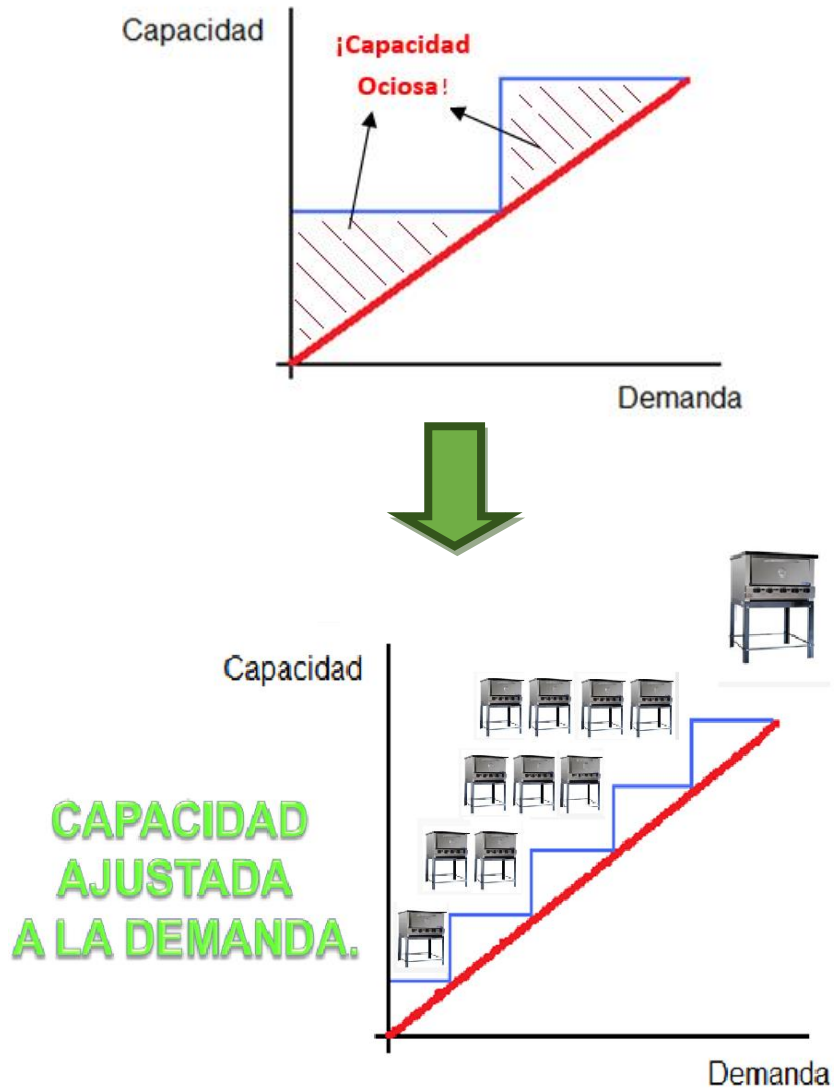


Fig. nº 12 - Selección de equipos: capacidad ajustada a la demanda.

BALANCEO DE LÍNEA

El Balance de Línea es necesario cuando los tiempos medios entre operaciones no son iguales. Consiste en agrupar actividades u operaciones que cumplan con el tiempo de ciclo determinado con el fin de que cada línea de producción tenga continuidad, es decir que en cada estación o centro de trabajo, cuente con un tiempo de proceso uniforme o balanceado

El objetivo es lograr un flujo sin interrupciones a lo largo de todo el proceso
 Un balanceo eficiente permite completar el ensamble requerido, seguir la secuencia especificada y mantener el tiempo muerto en cada estación de trabajo en un mínimo

TAKT TIME

$$\text{Takt Time} = \frac{\text{Tiempo disponible}}{\text{Demanda}} \quad [\text{min./pieza}]$$

CÁLCULOS

1. Determinar el tiempo disponible (T_D)

$T_D =$ tiempo total de la jornada laboral – tiempo de paradas programadas

2. Establecer el tiempo de cada operación (T_O)

3. Calcular el takt Time (Tkt)

Tkt = Tiempo disponible / demanda

4. Calcular el número de estaciones (N.E)

N.E = (Tiempo operación) / (Takt Time)

EJEMPLO

En una fábrica que se dedica ensamblar auto partes, cuenta con las siguientes operaciones y sus tiempos estándar respectivos. Se desea fabricar 1000 artículos en un turno de 9 hrs., con 45 minutos para almorzar, 15 minutos de refrigerio y 30 minutos para mantenimiento autónomo

Operación	TO [min./pza.]
1	1.15
2	1.1
3	1.04
4	1.63
5	0.95
6	1.9

Tabla. nº 2: Tiempos de operación.

Resolución:

Tiempo disponible: $9 - 0,75 - 0,5 - 0,25 = 7,5$ horas = 450 min.

Takt Time: $450\text{min} / 1000 \text{ pzas.} = 0,45 \text{ min/pza}$

Número de estaciones para la operación 1: $1,15 / 0,45 = 2,55$ se definen 3 estaciones.

(se repite el cálculo para el resto de las operaciones)

Cálculo de estaciones de trabajo

Operación	T _O [min./pza.]	T _{KT} [min/pza]	N.E	T _O [min./pza.]	T ciclo diseño
1	1.15	0.45	3	0.38	0.41
2	1.1	0.45	3	0.37	
3	1.04	0.45	3	0.35	
4	1.63	0.45	4	0.41	
5	0.95	0.45	3	0.32	
6	1.9	0.45	5	0.38	
Tiempo Total	7.77	2.7	21		

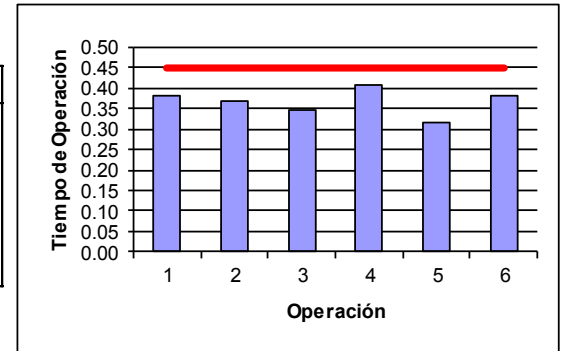


Tabla n° 3: Cálculo de estaciones de trabajo.

INDUSTRIA DE PROCESOS

INTRODUCCIÓN

Si bien la mayoría de los conceptos enunciados hasta el momento son aplicables a todo tipo de industria, las denominadas “**Industrias de Proceso**” poseen particularidades que deben ser tenidas en cuenta a la hora de desarrollar la Ingeniería de Manufactura.

Este tipo de industrias se caracteriza porque fabrican una variedad reducida, o un único producto a partir de la combinación de sustancias según una formulación o una receta determinada; a diferencia de industrias de manufactura discreta donde los productos se obtienen por montaje de diferentes partes, los cuales se ensamblan a partir de una lista de materiales (*Bill of Materials*).

Ejemplos de industrias de proceso son las: industrias químicas, petroquímicas, farmacéutica, hidrocarburos, fertilizantes, alimentos, bebidas, etc.

PARTICULARIDADES DE LAS INDUSTRIAS DE PROCESO

- La producción se realiza en batch (lotes) o en forma continua.
- Los procesos están integrado por una serie de operaciones básicas o unitarias donde ocurren reacciones químicas y/o transformaciones fisico-químicas, cuyos rendimientos dependen de la combinación y magnitud de una serie de variables (presión, temperatura, humedad, pH, etc.). Estas variables se denominan “**variables o parámetros de proceso**”.
- Las variables o parámetros de proceso tienen influencia directa en las características del producto, lo cual hace necesario un monitoreo del estado de los mismos, **controles de etapa**, a fin de garantizar la calidad del producto y el rendimiento de las siguientes etapas del proceso.
- A diferencia de las industrias de manufactura discreta, la industria de proceso presenta una cierta “irreversibilidad” respecto de las características y calidad del producto: una pieza o componente con defectos puede ser re-procesado o re-trabajado a fin de eliminarlos, y en el peor de los casos re-utilizarse como materia prima; por el contrario muchas de las sustancias o compuestos que resulte defectuosos no pueden ser recuperados. Esto obliga a tener el **proceso bajo control**, es decir, que los parámetros de proceso se encuentren dentro de los rangos de valores establecidos.

BALANCE DE MASA

Uno de los aspectos a resolver durante la Ingeniería de Manufactura es determinar qué cantidad de cada compuesto debe “ingresar” a cada etapa para que al final del proceso se obtenga la cantidad de producto necesaria. Esto se consigue realizando un **Balance de Masa**.

El primer paso es establecer los límites del sistema y establecer las cantidades de materia que los atraviesan.

La ley de conservación de la materia establece:



Fig. nº 13 - Balance de masa: estructura general.

En el caso en que no se genera ni consume materia en el sistema, se tiene:

ACUMULACIÓN = ENTRADAS – SALIDAS

En el caso de un proceso donde ocurre una reacción química, el balance de materia estará limitado por la estequiometría de la reacción, el rendimiento de la operación, el tiempo necesario para que dicha reacción ocurra y el estado de las variables que tienen influencia (presión, temperatura, pH, etc.)

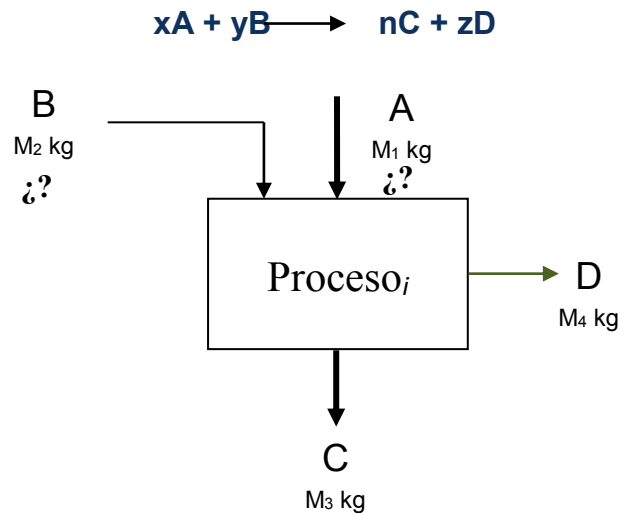


Fig. nº 14 - Balance de masa.

En el caso de existir un flujo de recirculación, por ejemplo del componente en exceso que no entra en reacción con otros elementos, se deberá computar como cantidad de materia que ingresa al sistema.

BALANCE ENERGÍA

En los procesos donde se requiera intercambio de energía, se aplicará el mismo principio de conservación, en este caso aplicado a las cantidades de energía necesaria o disponible.

Por ejemplo: en un proceso de calentamiento será necesario calcular qué caudal y a qué temperatura debería ingresar el fluido térmico para garantizar la temperatura final del producto.

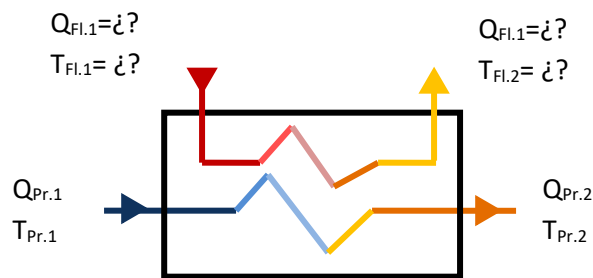


Fig. nº 15 - Industria de Proceso: Balance de energía

SELECCIÓN / ESPECIFICACIÓN DE EQUIPOS

Las condiciones de operación de las Plantas de Proceso: caudales, presiones, temperaturas, tipo de sustancias o compuestos utilizados para obtener el producto final, tipo y cantidad de producción, etc, determinan que, en muchos casos, los equipos no se puedan seleccionar de un catálogo, dentro de un rango discreto de opciones, como suele ser el caso de las máquinas utilizadas en la fabricación de partes o piezas.

Por el contrario, en las Industrias de Proceso, el diseño y la construcción de los equipos estarán a cargo

de la empresa proveedora, pero es tarea y responsabilidad del ingeniero/a encargado/a de realizar la Ingeniería de Manufactura establecer cuáles son las necesidades y redactar las especificaciones bajo las cuales se diseñarán los equipos. Las especificaciones se elaboran a partir de:

Variables de Proceso: presión, temperatura, humedad, pH, conductividad eléctrica, etc.

Variables de Diseño: volumen, caudal, altura de descarga, superficie de transferencia térmica, potencia requerida, etc

Especificaciones del Producto: viscosidad, solubilidad, tamaño de partículas, tipo de sustancia, etc.

Condiciones de Operación: atmósfera donde estará instalado, necesidad de atención, necesidad de aislación, tipo de operación: continua o batch, etc.

De aquí, que muchas Plantas sean adquiridas bajo la modalidad *“llave en mano”*.

Un aspecto fundamental a la hora de redactar las especificaciones, es considerar los efectos producidos por la **corrosión** (ataque químico) y la **erosión** (desgaste de las superficies y componentes por el pasaje de un fluido o partículas en movimiento), condicionan las alternativas de diseño.

En este sentido, la selección de los **materiales** con los que se construirán los equipos y sus componentes es de suma importancia para garantizar el correcto funcionamiento de la planta. Debe garantizarse que éstos sean compatibles con las sustancias con las que estarán en contacto, es decir: no se modificará su composición y estructura (no serán “atacados”) ni alterarán las propiedades del producto.

Toda la información necesaria para el diseño y fabricación de los equipos (especificaciones), se reúnen en un documento llamado **Hoja de Datos**.

Se elabora una Hoja de Datos por cada equipo y pueden tener diferentes formatos de acuerdo al criterio de la empresa o profesional que la elabora. En forma general, contendrán la siguiente información:

- Carátula (opcional)
- Logo y nombre de la empresa
- Identificación del equipo: Nombre / descripción; función; ubicación; T.A.G
- Datos de Proceso
- Condiciones de Operación
- Datos para el Diseño
- Materiales
- Tipo de conexiones al equipo
- Esquema

En la siguiente figura se puede observar un modelo de Hoja de Dato



HOJA DE DATOS EQUIPO	Cliente	Doc. N° NN-NNNN-NN-NN	Re: A
	Lic N°: S/D	Página: 1 de 2	
	Destino: CPF-La Calera - Nequén	Cat N°: NNNN	
	Equipo: Separador común de succión	Fecha: 04/05/2020	
TAG: VBF-150	Emisión: Para Cotización		

DATOS DE PROCESO		MATERIALES	
Tipo de Separador	Difusión Vertical	Escaleras:	
Presión de Operación [MIN / MAX]		Cubiertas:	
Temperatura de Operación		Perlas:	
Caudal de Gas	m ³ /dia	Cables Corrosivos:	
Caudal Total de Líquido	m ³ /h	Clip / Paj:	
Caudal Líquido Líquido	m ³ /h	Fusibles:	
Caudal Líquido Pesado	m ³ /h	Resorciones:	
Gas		Cables / Pallets:	
Composición:		Tornillos:	
Densidad:	kg/m ³	Juntas:	
Gravedad específica [SG]		Paralelos:	
Presión Manométrica	MPa	Placas de identificación:	
Viscosidad:	cp	Placas de identificación:	
Fluido Líquido: HCL líquido - Glicol		INTERIORES	
Densidad:	kg/m ³	Deflectores de entrada:	
API:	kg/m ³	Deflectores:	
Viscosidad [CST@C]	cp	Placas estabilizadoras:	
Tensión superficial:	dyn/cm	Deflectores:	
Fluido Pesado:		Remontar:	
Densidad:	kg/m ³	Eliminador de virutas:	
Viscosidad [CST@C]	cp	Soporte:	
Tensión superficial:	dyn/cm	Valvulería interna:	
Tiempo de retención:	minutos		
Eliminador de virutas:	Wire Mesh		
Partículas org. en cantidad:	ppm		
Partículas de HCL org. del agua:	ppm		
Partículas de HCL org. del HC:	ppm		
DATOS PARA EL DISEÑO MECÁNICO		DIMENSIONES	
Código de diseño:	ASME Sec. VIII Div. 1 - Ed. 2013	Longitud cables escaleras:	mm
Estándar ASME:	No	Espresso escaleras [Req. / Num.]:	mm
Presión interna de diseño:	kg/cm ²	Espresso lateral [Req. / Num.]:	mm
Presión externa de diseño:	kg/cm ²	Valvulas:	"
Presión de prueba:	kg/cm ²	Pres. Van. escaleras:	Kg
Presión de prueba:	kg/cm ²		
Temperatura de diseño [Min/Max]:	°C		
Corrosión admisible:	mm		
Radio atizado:	mm		
Servicio (L):	HLL		
Tratamiento térmico:	HLL		
Prueba de impacto:	LHL		
	LLL		
	LLLL		
OTRAS CARGAS		NIVELES	
Cargas de viento:	CIRSOC 102	INTERFASE VERTEDERO	
Velocidad básica:	45 m/sq	HLL:	mm
Categoría de Exposición:	C	HLL:	mm
Clasificación de la corrosión:	III	HLL:	mm
Cargas Sísmicas:	CIRSOC 103	LLL:	mm
Zona sísmica:	I	LLL:	mm
Grupo de construcción:	MB	LLLL:	mm
Tipo de suelo:	Tipo II	Altera del Doble Vertedero:	mm
Carga de Hielo:	CIRSOC 104		
Carga axial del livorno:	KN/m ²	DATOS COMPLEMENTARIOS	
		Gravillado:	
		Plataforma inferior:	
		Plataforma superior:	
		Protección soldadura:	
		Redes de refuerzo:	
		Reducción térmica:	
		Plataforma superior:	
		Sold:	

HOJA DE DATOS EQUIPO	Cliente	Doc. N° 55-5477-HD-01	Re: A
	Lic N°: S/D	Página: 3 de 3	
	Destino: CPF-La Calera - Nequén	Cot N°: 5477	
	Equipo: Separador común de succión	Fecha: 04/05/2020	
TAG: VBF-150	Emisión: Para Cotización		

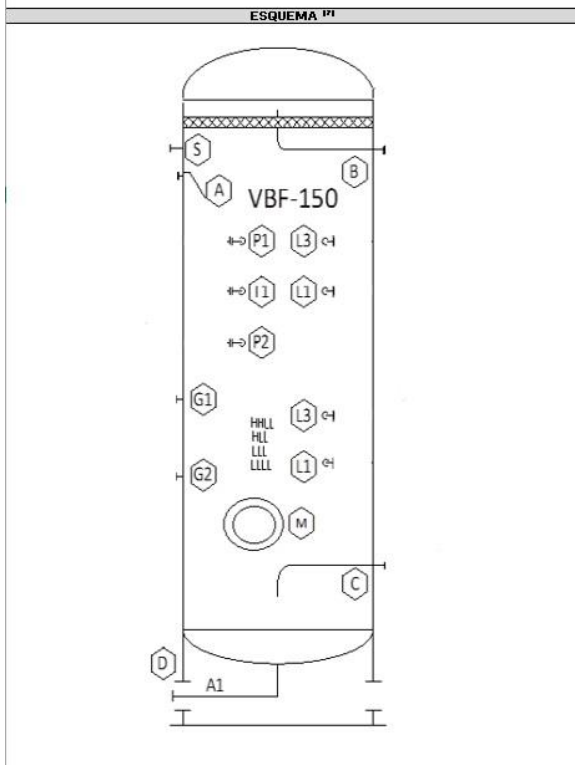


Fig. n° 16 - Hoja de Datos de Equipo.



NOTAS SOBRE CALIDAD

DEFINICIONES

Según Norma ISO 9000:

Calidad: Grado en el que un conjunto de características inherentes cumplen con los requisitos.

Requisitos: Necesidad o expectativa establecida, generalmente implícita u obligatoria.

Satisfacción del Cliente: Percepción del Cliente sobre el grado en que se han cumplido sus requisitos.

LA CALIDAD LA DEFINE EL CLIENTE

En base a estas definiciones ya no hablamos sólo de calidad sino de **CALIDAD PERCIBIDA**: balance entre “*lo que el cliente espera*” del producto / servicio y “*lo que el cliente percibe que obtuvo*” con la adquisición del mismo.

Si esta relación la expresamos matemáticamente, la Calidad (percibida) será el resultado de la diferencia “entre lo que obtiene” y lo que espera: si lo que obtuvo cumple o supera sus expectativas, el producto y/o servicio será percibido como “de calidad”.

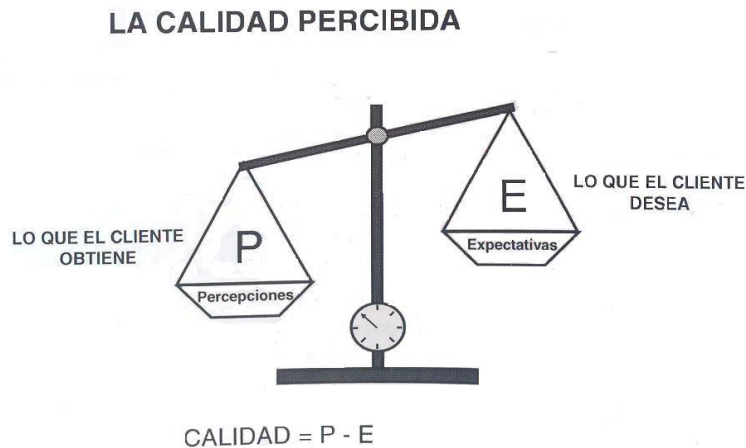


Fig. nº 17 - Calidad percibida. Néstor Gavilán, Oriol Cuatrecasas – Fundamentos Lean.

¡¡CUIDADO!!:

La Calidad, definida como atributos percibidos por el cliente, no debe ser confundida con requerimientos de seguridad o inocuidad. Un producto que no cumple con los requisitos de seguridad, o un alimento que no cumple con las condiciones de inocuidad que lo hacen apto para el consumo, no son productos de “calidad inferior” o “mala calidad”, son productos que no cumplen con la normativa y la legislación vigente, ni con la función para la cual fueron diseñados.

VARIABILIDAD DE UN PROCESO PRODUCTIVO

Fluctuación Natural: Es la fluctuación de las características de calidad alrededor de un valor central debido a un conjunto de causas que afectan al proceso en forma aleatoria; cuyos efectos individuales son muy pequeños.

La Fluctuación Natural del proceso es inherente al mismo y no puede eliminarse, sólo puede reducirse realizando modificaciones en el mismo.

La fluctuación natural de un proceso puede cuantificarse a través de la desviación estándar del mismo, con lo cual podemos calcular Límites de Tolerancia Natural del proceso. Se suele tomar como rango de fluctuación natural 6σ .

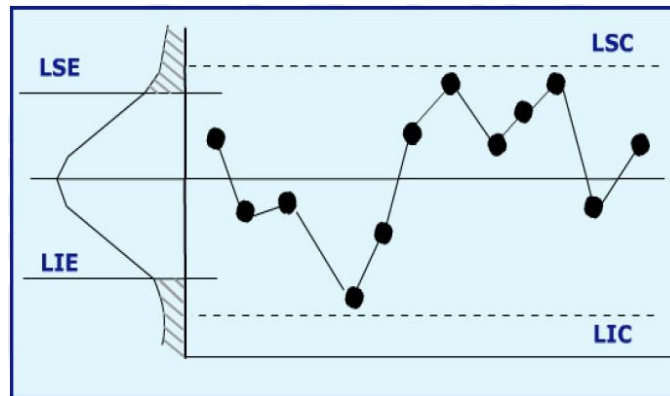


Fig. nº 19 - Calidad: Fluctuación natural y tolerancias.

CAPACIDAD DE UN PROCESO

Es la aptitud para generar un producto con determinadas especificaciones. En el mejor de los casos, es conveniente que los **Límites de Tolerancia Natural** del proceso se encuentren dentro de los **Límites de Especificación del Producto** (LIE – LSE). De esta manera se asegura que el 99,73% de la producción cumplirá con las especificaciones.

$$\text{CAPACIDAD} = 6\sigma$$

El intervalo 6σ es el que se corresponde con las tolerancias naturales del proceso

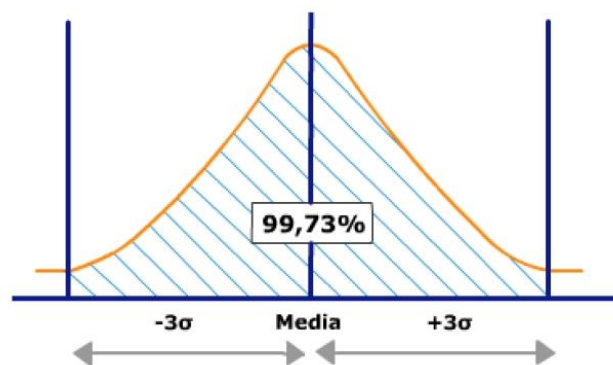


Fig. nº 20 - Calidad: 6σ .

GLOSARIO

CAD: Diseño asistido por computadora (*Computer Aided Design*): es la aplicación de herramientas informáticas en el diseño y modelado de productos.

CAM: Manufactura asistida por computadora (*Manufacturing Aided Design*): las operaciones a realizarse para la obtención del producto y su secuencia son programadas mediante aplicaciones informáticas específicas en las máquinas y equipos de producción (por ejemplo: centro de mecanizado con Control Numérico Computarizado (C.N.C))

Capacidad de fabricación: cantidad de producto que puede obtenerse por unidad de tiempo en una determinada máquina o proceso (kg/h; piezas/min., etc.). La Capacidad también puede ser medida como la cantidad de tiempo necesario para realizar una determinada cantidad de producción.

Capacidad de un proceso: Es la aptitud de un proceso para generar un producto con determinadas especificaciones.

C.I.M: manufactura integrada por computadora (*Computer Integrated Manufacturing*): los productos son diseñados y modelados con ayuda de un software específico, el cual a su vez genera el programa de producción para dicho producto; y es “enviado” o “cargado”, en un lenguaje específico, al equipo o máquina que lo va a producir.

Cuellos de botellas: Son las Operaciones Condicionantes que trabajan al 100% de su capacidad.

Desperdicios (Wastes): actividades que no agregan valor al producto o servicio y que no son necesarios para el proceso

Flujo de producción: volumen de producción que se transfiere entre operaciones en un determinado proceso, en un tiempo determinado.

Lead Time: Tiempo que le lleva a una unidad producto recorrer todo el proceso, desde el inicio hasta el final; incluidos los tiempos de espera entre los sub-proceso. “También se denomina **Throughput time**”

Llave en mano: modalidad por la cual, la ingeniería básica y de detalle, construcción, montaje y puesta en marcha de una Planta es realizada por una empresa de Ingeniería especializada. Entregando a la Empresa propietaria la Planta en condiciones de operar.

Lote de producción: Cantidad de producto que se pretende obtener en el proceso.

Lote de transferencia: Cantidad de producto que se transfiere desde una operación a la siguiente. Puede coincidir con el lote de producción o ser una fracción de éste.

Lucro cesante: Dinero que se deja de percibir, durante un período de tiempo, por la interrupción de una actividad económica. En producción, puede ser el resultado de la rotura de una máquina o el faltante de alguna materia prima.

Operación condicionante: Dentro de un proceso, la Operación Condicionante es aquella cuya capacidad de producción es la menor respecto del resto de las operaciones que componen dicho proceso. Es la que determina el tiempo de ciclo del proceso por ser la operación más lenta.

TAG: Etiqueta. Código alfanumérico que se utiliza para identificar a los equipos e instrumentos. (ver norma ISA 5.1)

Takt Time: Es el ritmo al que deben emerger los productos al final de la línea o proceso de producción para cumplir con la demanda de los clientes. Se calcula como el cociente entre: Tiempo disponible / demanda. Se mide en minutos/unidad producto. El Takt Time se diferencia del Tiempo de Ciclo porque el primero depende de la demanda (factor externo al proceso), el segundo depende del tipo de proceso, del producto, de la tecnología, etc. (factores internos).

Tiempo de ciclo: Tiempo que transcurre desde que se termina una unidad de producto hasta que se termina la siguiente. Este tiempo coincide con el tiempo de la operación más lenta. Cuando el proceso está equilibrado, todas sus operaciones tienen el mismo tiempo de ciclo.

Tiempo disponible para producción: Es el tiempo neto disponible para realizar la producción. Se calcula deduciendo a la jornada laboral el tiempo asignado a las paradas programadas (refrigerios, mantenimientos programados, limpieza de fin de turno, tiempos programados para cambios de set up).

T.O.C (Theory of Constrains): La Teoría de las Restricciones o Limitaciones fue formulada por el físico Eliyahu Goldratt, y presentada en su Libro La Meta (“The Goal”) – 1ra edición 1984- Consiste en ajustar el ritmo de producción al del “cuello de botella” (operación o proceso más lento, trabajando al 100% de su capacidad). De esta manera sólo se generará stocks en proceso en los “cuellos de botella”; además se trabaja con lotes más reducidos en comparación con la producción convencional.

Valor (de un bien económico): grado en que las características y atributos de un producto satisfacen las necesidades de los clientes

BIBLIOGRAFÍA

Arnoud de Meyer; Avivah Wittenberg-Cox – “Nuevo enfoque de la función de Producción” – Folio – Barcelona 1994

Basco Ana Inés, Beliz Gustavo, Coatz Diego, Garnero Paula – “Industria 4.0: fabricando el futuro” – Ciudad Autónoma de Buenos Aires – julio 2018

Cuatrecasas Lluís – “Diseño avanzado de procesos y plantas de producción flexible” – Profit – Barcelona 2009

Fred E. Meyer; Matthew P. Stephens – “Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales” – Ed. Pearson – 3ra edición - México 2006

Gavilán Néstor, Cuatrecasas Oriol – “Fundamentos Lean” – apuntes de workshop – Instituto Lean Management – 2007

Max S. Peters, Klaus D. Timmerhaus – “Diseño de plantas y su evaluación económica para ingenieros químicos” – Ed. Geminis S.R.L – Buenos Aires 1978

Moreda Pablo – “4ta Revolución Industrial: Industria 4.0” – Apunte Cátedra Proyecto Integral de Plantas I y II – 2020.

Solana Ricardo F. – “Producción. Su organización y administración en el umbral del tercer milenio” – Ediciones Interamericanas S.A – Buenos Aires 1998

