

DESIGN AND
ANALYSIS OF
LEAN PRODUCTION
SYSTEMS



Ronald G. Askin
Jeffrey B. Goldberg

“Diseño y análisis de sistemas de producción Lean”

Ronald G. Askin

Jeffrey B. Goldberg (2002)

1. La empresa Industrial

Toda empresa dedicada al diseño, manufactura o entrega de productos está dedicada a crear ingresos para el empresario, aparte de crear valor para el cliente. Este libro se concentrará en tres preguntas básicas que salen a relucir en estas empresas: qué hacer, cuánto hacer y cuándo hacerlo. Es necesario recordar qué es, por ejemplo, el **inventario**. Éste se define como los artículos que físicamente son usados y producidos por el sistema. El alcance en la producción del sistema incluye la **planeación** a largo plazo, **itinerario** en mediano plazo y **control** en corto tiempo. Para poder tener una empresa exitosa es necesario planear a largo plazo pero con metas pequeñas, generando así un proceso resistente a paros, fallas, y cualquier contratiempo. Para poder alcanzar las metas pequeñas como se mencionó anteriormente, muchas empresas han empezado a externalizar las actividades, dejando éstas en manos de industrias expertas en cada rubro.

La firma industrial mantiene su existencia suministrando a los clientes con productos cuyo valor social exceda su costo de producción más el costo de transporte.

Medidas de competitividad:

- Precio
- Características visuales y funcionales de producto
- Calidad
- Servicio
- Disponibilidad en el mercado

Las empresas alrededor del mundo varían en cuanto a filosofías y productos, sin embargo, todas deben trabajar bajo los mismos conceptos funcionales.

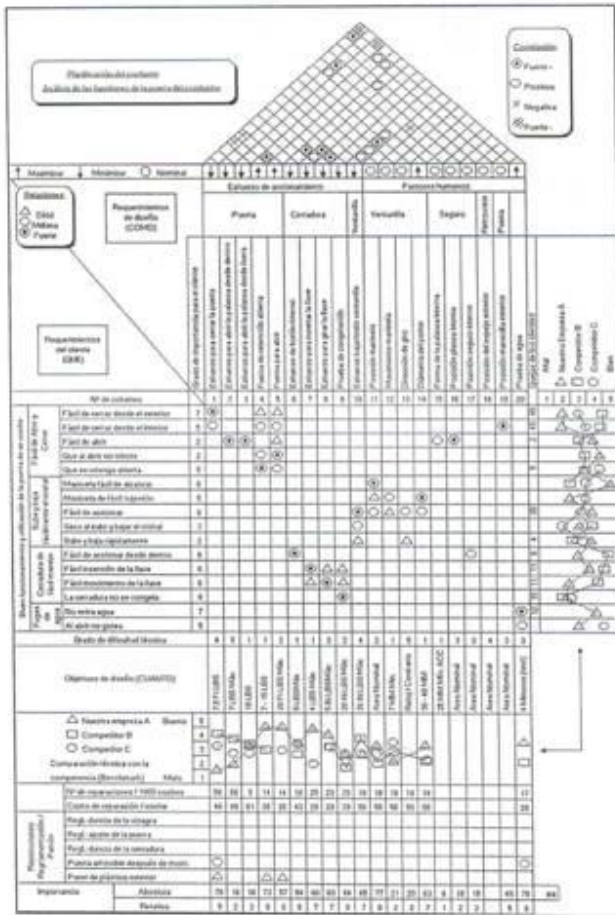
Las metas de las empresas están relacionadas con entregar al cliente bienes y servicios que satisfagan sus necesidades. Sin embargo, las leyes gubernamentales, las medidas de seguridad, entre otros, disminuyen el alcance y aumentan el esfuerzo de la empresa para alcanzar estas metas. Por lo tanto las compañías deben de diseñar sistemas y procedimientos para alcanzar las metas aparte de cumplir con las reglas establecidas. Mencionando las actividades que se deben llevar a cabo en estos procesos están:

- Diseño de producto, proceso, herramientas que se usarán y prueba de diseño.
- Fabricación
- Distribución

- Garantía y mantenimiento
- Disponibilidad del producto

Se empieza con la recolección de información acerca del cliente. Esta información debe ser obtenida respondiendo a las necesidades de los clientes. La investigación y desarrollo son partes importantes de este punto.

Técnicas como la casa de la Calidad, muestran este proceso de creación de producto atendiendo a los **atributos del cliente** y las **características ingenieriles** que pueden o podrían satisfacer estas demandas.



Un plan de procesos consiste en una secuencia de **operaciones** para convertir las materias primas en producto terminado. Existen diferente tipo de operaciones: **Fabricación, ensamblado, separación**, etc. El **tiempo unitario de procesamiento** indica el tiempo requerido por repetición de operación. El rendimiento del proceso significa la proporción de unidades que son realizadas correctamente por el proceso.

Manufactura

Es aquí donde las materias primas se convierten en producto terminado.

Distribución

La **cadena de suministro** es la combinación de compra, manufactura y distribución del producto.

Soporte y mantenimiento

Aparte de la buena calidad del producto se debe crear la garantía del producto.

Desecho y reciclaje

Actualmente, es necesario crear conciencia acerca del reuso que se le debe dar a los productos fabricados por la empresa, también su proceso de desecho.

Procesos del negocio

Las características más importantes de un proceso son:

- Los procesos requieren recursos.
- Los procesos deben cumplir con los objetivos del negocio.
- Cada proceso debe tener un producto Y un consumidor.

Adquisición y mantenimiento de los datos de modelado.

El costo de mano obra es casi siempre dividida en dos: Mano de obra directa y mano de obra indirecta. Es por ello que es necesario calcular con exactitud el costo de la producción. Sistemas de contaduría usan las siguientes fórmulas para poder calcular exactamente los datos a futuro.

Total Manufacturing Cost = Costo del material directo + Costo de la mano de obra directa + costos de la fábrica.

Costo de los bienes manufacturados= Total de costos de manufactura + valor inicial de "Work in Progress" – Valor final del "Work in Progress"

Costo de los bienes vendidos = costo de bienes manufacturados + bienes iniciales finalizados + bienes finales terminados.

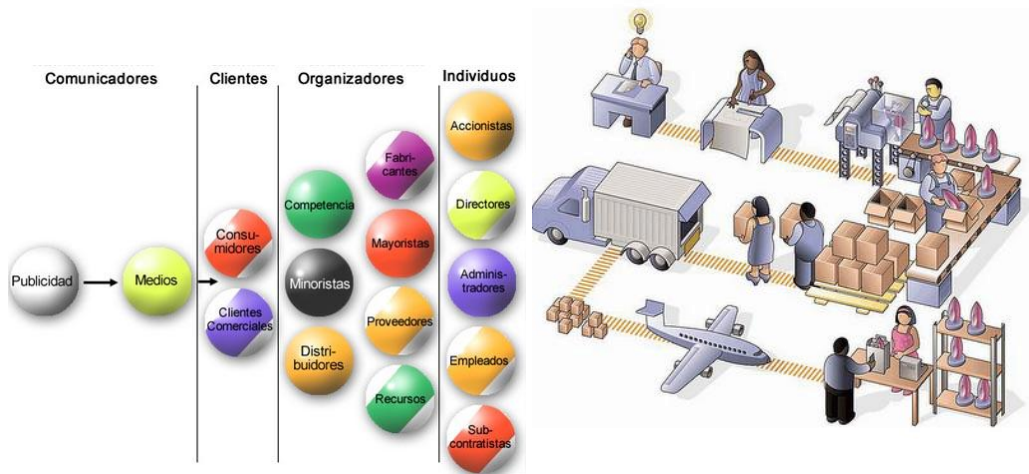
2. Introducción al sistema de producción y el rol del inventario

El principal objetivo de este capítulo es diseñar el sistema de producción y entender como funciona.

La lista de recursos y procedimientos que contribuyen a convertir las materias primas en productos define el sistema de producción. Éste también incluye la producción y el transporte de productos.

El objetivo del sistema de producción consiste en entregar productos con las especificaciones deseadas, estéticamente agradables y con calidad para el cliente en el costo y tiempo correcto.

El comando y control de una empresa siempre sigue una estructura jerárquica como la mostrada:



Existen cuatro tipos básicos de sistemas de organización de manufactura: proceso, producto, de célula y posición fija.

Los recursos clave suelen ser la mano de obra y el equipo en operaciones industriales. Una operación denominada como **cuello de botella** es aquel recurso o operación que detiene todo el proceso de manufactura y por lo tanto de todo el proceso.

La producción por lote es un recurso muy importante en lean, éste es mejor si se produce por lotes pequeños, cronometrado y específico para cada proceso.

Existe una importante decisión al empezar a diseñar la empresa, se debe decidir si se va a producción para generar inventario o para satisfacer órdenes. En la **producción para generar inventario** se crean productos para satisfacer un número establecido anteriormente, una meta. Sin embargo en este tipo de producción se necesita mucho capital y lugares de almacenamiento.

En la **producción para satisfacer órdenes** se generan productos que ya fueron pedidos, con la capacidad de no generar inventario y sobreproducción.

Otro tipo de producción intermedio entre los dos tipos de producción anteriormente mencionados es el **ensamble por orden**, donde ya se tiene listas las partes de cada producto y sólo cuando llega una orden se ensamblan todas las partes.

El rol del inventario ocupa una parte importante en el diseño y producción de del producto. El **tamaño del lote**, de la **orden** y el **punto de reorden** con establecidos por la dirección.

Tipos de inventario:

- Inventario de materias primas
- De producto terminado
- De trabajo en proceso
- De trabajo entre celdas

La necesidad de la información es una gran parte de la producción de un producto. La información ayuda en la cantidad de inventario, en la demanda cíclica de la producción y en las decisiones de volumen de producto.

Muchos principios han sido establecidos para guiar el diseño del sistema de producción:

- a) Debemos esperar aprender con el tiempo
- b) Los productos tienen un ciclo de vida natural
- c) El tiempo para preparar las máquinas es una clave para manejar la producción
- d) Hallar un nivel óptimo de inventario
- e) La capacidad debe ser balanceada por el costo
- f) La relación de producción debe estar ligada con el nivel de inventario
- g) Las actividades sólo pueden existir si agregan un valor al cliente

Modelos de producción.

La definición del modelo es parte importante, ya que se definen los aspectos como:

- Verificación y validación del sistema
- Mejorar el diseño del sistema
- Mejorar la operación del sistema
- Hacer mejores decisiones
- Comunicación

3. Caracterización del mercado

Muchos productos en el mercado son tirados debido a que la sociedad no estaba interesada en su compra. Es por ello que los sistemas de pronósticos son importantes para saber qué venderle al cliente y cómo llegar a él. Los pronósticos son necesarios para guiar muchas de las decisiones hechas por la corporación.

Se deben considerar varios factores en la selección de un método de pronóstico. Se debe contemplar el nivel de detalle. ¿Se requiere de un pronóstico de detalles específicos (un micro pronóstico)? ¿Se precisa el pronóstico de algún punto en el futuro cercano (un pronóstico a mediano plazo), o para un punto en el futuro distante (un pronóstico a largo plazo)? Y, ¿hasta qué grado son apropiados los métodos cualitativos (de juicio) y cuantitativos (de manipulación de datos)?

La base para entender los problemas de pronósticos es comprender el proceso; por ejemplo, el proceso que crea la demanda de un artículo. Nunca se puede comprender por completo el proceso, por lo que solo se puede esperar conocerlo cada vez mejor y hacer las suposiciones necesarias para crear los pronósticos. Para hacer esto, se examina las características del problema y se analizan los datos, si existen. También se establece una meta para el pronóstico.

La consideración que se impone en la selección de un método de pronóstico es la de que los resultados deben facilitar el proceso de toma de decisiones de los administradores de la organización. Por lo tanto, el requerimiento esencial no es que el método de pronóstico comprenda un proceso matemático complicado o que sea lo último en complejidad. En vez de ello, el método elegido deberá producir un pronóstico que sea preciso y comprensible para los administradores, de modo que pueda ayudar a producir mejores decisiones. Además, la utilización del proceso de pronóstico debe producir un beneficio que exceda al costo asociado con su uso.

El largo del tiempo que se espera el pronóstico dure se llama **horizonte del pronóstico**. Las **predicciones** son diferentes a los **pronósticos**.

Proceso de creación del modelo:

- I. Seleccionar el objetivo de series de datos para pronosticar
- II. Coleccionar datos
- III. Graficar datos
- IV. Crear una hipótesis de la forma del modelo
- V. Estimar parámetros del modelo
- VI. Checar la adaptación del modelo a la realidad
- VII. Implementar y monitorear

Existen una variedad de métodos (cualitativos y cuantitativos) existentes para pronosticar la demanda. Se puede utilizar la interpolación para el pronóstico a tiempo pequeño. Para cada temporada también existen tipos de pronóstico.

Los modelos causales y las extrapolaciones a mediano tiempo sugieren la necesidad de utilizar regresiones lineales, estimación de parámetros y señalar la adecuación del modelo a la realidad.

Una **serie estacionaria** es aquella cuyo valor promedio no varía a través del tiempo. Estas situaciones se presentan cuando los patrones de demanda que influyen sobre la serie son relativamente estables.

El pronóstico de series estacionarias comprende el uso de la historia disponible de las series para estimar su valor promedio, el cual se convierte después en el pronóstico de valores futuros.

Una serie con tendencia como una serie de tiempo que contiene un componente de largo plazo que representa el crecimiento o declinación de la serie a través de un periodo amplio. Tiene una tendencia si su valor promedio varía a través del tiempo, de modo que se espera que aumente o disminuya durante el periodo para el que desea pronóstico. Es común que las series económicas contengan una tendencia.

Una serie estacional como una serie de tiempo con un patrón de cambio que se repite a si mismo año tras año. Por lo regular, el desarrollo de una técnica de pronóstico estacional comprende la selección de un método multiplicativo o uno de adición y estimar después índices estacionales a partir de la historia de la serie. Estos índices se usan posteriormente para incorporar la estacionalidad al pronóstico para eliminar tales efectos de los valores observados.

El pronóstico para juzgar los tipos de demanda para productos nuevos, suelen ser utilizados ampliamente debido a que los datos históricos no se pueden utilizar. Dentro de estos pronósticos de juicio existen:

- El “delphi method”
- Encuestas de mercado

Cuando existen múltiples fuentes de información o son independientes entre sí no es necesario escoger un modelo en específico, sino que es necesario combinar ciertos tipos de pronóstico.

· Existen diversos tipos de pronósticos según el periodo de tiempo que manejemos (a mediano y largo plazo) y de acuerdo a la manipulación de los datos que hayamos hecho.

· Existen cuatro pasos establecidos, para la determinación del proceso de pronóstico: 1. Recopilación de datos, 2. Reducción o condensación de datos, 3. Construcción del modelo, 4. Extrapolación del modelo (modelo en sí).

4. Estrategia de manufactura y cadena de suministro

El plan de estrategias de manufactura identifica la familia de productos que se producirán, la tecnología que se necesita y las políticas generales que se utilizarán para la compra, producción y distribución.

Las dimensiones de la estrategia de manufactura incluyen desde el rango de la línea de productos, el lugar geográfico-económico de producción, la tecnología usada, el núcleo de competencias y el grado de integración perseguido.

Las **competencias de núcleo** son establecidas como la “misión” o la meta que producirá una ventaja competitiva en el mercado.

Kuglin [1988] enfatiza que las competencias de núcleo deben:

- Facilitar el acceso al mercado
- Ser percibidas por el cliente al sumarle un valor significativo al producto
- Ser difíciles de imitar, poniéndole una barrera a la competitividad.

Muchas empresas cuentan con una **integración vertical** para obtener una cadena de suministro confiable.

Dentro de las dimensiones de la estrategia de manufactura también se encuentra el grado de **flexibilidad** de la empresa, donde ésta se define como la facilidad de adaptarse al cambio.

Apoiando las decisiones

Como se mencionó anteriormente, algunas empresas deciden delegar sus operaciones y encargar que ciertas partes sean producidas por empresas externas. Sin embargo debemos decidir qué partes sería mejor producir. Es por ello que las partes más importantes serán las que creen las competencias de núcleo, es decir, que diferencien el producto de la compañía de los competidores.

Otra decisión mencionada en el capítulo dos se presentó la problemática de decidir si se va a hacer la producción para generar inventario o para satisfacer órdenes. Para la producción para generar inventario podemos encontrar la posibilidad de tener partes cuando el cliente las pide pero con el reto de asumir costos de inventario. En la producción para satisfacer órdenes obtenemos problemas como el tiempo de entrega al cliente.

Conceptos de la administración de la cadena de suministro

- Logística global- a través del tiempo se ha visto como las diferentes compañías se han expandido por el mundo ofreciendo sus productos y servicios.
- Sistemas de información logística- con el incremento de la interacción geográfica de los distintos grupos humanos, es necesario crear una filosofía en donde se pueda crear un intercambio de productos y servicios. Sin la coordinación a través de la cadena de suministro se pueden dar situaciones caóticas como el “bull ship effect” es decir, pequeñas variaciones en la venta al menudeo pueden causar un desastre en las órdenes de materias primas y en la producción.
- Diseño de producto y personalización
- Selección de vendedor, certificación y contratación
- Decisiones operacionales en sistemas de distribución- “Cross-docking” es una estrategia para alcanzar mejor la demanda con un mínimo inventario. Este término se refiere a que los productos no son puestos en inventarios en centros de distribución. En lugar de esto los productos son recibidos por los centros de distribución e inmediatamente puestos en el transporte que los llevará a su destino final.
- Localización de inventario- en primer lugar se establece en la filosofía lean la necesidad de eliminar inventario , y después la pregunta de dónde sí es necesario tener un poco de éste.

En la distribución de planeamiento de requerimientos, DRP, el producto sigue la estrategia de “jalar” es decir jerárquicamente la necesidad de producto se va pasando de un bloque de la cadena de distribución a otro.

Programas de modelos matemáticos pueden ayudar en definir los proveedores, las facilidades de producción y las facilidades de distribución que pueden minimizar los costos totales del producto.

5. Planificación agregada

Ya que el diseño y la planeación del producto están completos se establece la planeación agregada. La planeación agregada envuelve la mano de obra, la producción y el nivel de inventario en un rango de tiempo mediano, generalmente de 6 a 18 meses. Para ello, es necesario establecer una familia de productos, la cual con la planificación agregada, se puede establecer la cantidad de producción.

Existen ventajas y desventajas en cuanto a la planeación de inventario, fuerza laboral, cambios, etc. Es por ello que se proponen diferentes modelos de redes básicos para su solución. Si conocemos realmente la demanda de los próximos meses podemos calcular niveles de producción óptimos por un modelo de flujo de red.

Los modelos lineales programables establecen buenas condiciones para resolver diferentes condiciones. Un modelo de Programación Lineal considera que las variables de decisión tienen un comportamiento lineal, tanto en la función objetivo como restricciones del problema.

Existen cinco componentes básicos para cada modelo:

- Función objetivo
- Limitaciones de la disponibilidad de recursos
- Limitantes de la conservación
- Decisión de variables
- Coeficientes tecnológicos

Muchos productos que pasan por diferentes estados de producción necesitan inventario entre cada celda de estos estados, es por ello que se necesita modelar estas etapas explícitamente generando modelos dinámicos multietapas.

Cuando las operaciones ocurren en diferentes instalaciones y bodegas, es necesario crear multi-instalaciones de redes de producción-distribución para poder señalar los cuellos de botella de proceso.

La producción planeada con el tamaño de lote, tiene el propósito de que se tengan los materiales requeridos, en el momento requerido para cumplir con las órdenes de los clientes. El proceso genera una lista de órdenes de compra sugeridas, aparte de un reporte de riesgos de material.

Los planes agregados deben ser desagregados para que puedan ser funcionales. En la desagregación, la razón de la demanda, los niveles de inventario, los valores de seguridad y los costos de configuración y tiempos llevan al paro de la familia de productos.

6. Control de inventario en una sola etapa

Ya se habló de los tipos de inventario y de sus costos asociados. Ahora toca hablar de las ventajas y desventajas y de los modelos que ayudan a la decisión de políticas óptimas. En esta etapa se consideran solamente etapas simples y demandas independientes.

Es necesario mencionar que el inventario siempre va a existir, sin embargo, se deben establecer modelos que puedan bajar el nivel de inventarios a puntos óptimos y así reducir costos.

Una de las recientes aplicaciones matemáticas para la administración es el Modelo Económico de cuantificación de orden, EOQ, modelo básico de control de inventario que determina cuántas partes ordenar o producir.

Este modelo tiene 6 características o limitaciones:

- 1) Una demanda conocida, continua o estática y determinada
- 2) Costo constante
- 3) Costo de inventario basado en el valor de un promedio de inventario a la mano
- 4) Entrega de lotes instantáneo
- 5) Todas las ordenes tienen la misma calidad, y la cantidad no es limitada
- 6) No hay capacidad de escasez

El Modelo Económico de cuantificación de manufactura es el modelo parecido al EOQ pero dirigido a la transformación de materia prima en producto terminado.

Para las máquinas que necesitan un tiempo de cambio para generar productos diferentes, se adecúa el EOQ con un término denominado AD/Q .

Aparte de la adición de costos, la responsabilidad del sistema de producción define la competitividad. Es por ello que es muy importante minimizar el tiempo de marcapasos, es decir el tiempo que genera el cuello de botella en la producción.

Si por ejemplo, cambiara la demanda y el tiempo de marcapasos, no se podrían utilizar los modelos anteriores. Por ello, mediante probabilidad, se podrían calcular estos dos factores. Sin embargo, lo mejor sería utilizar la aleatoriedad de estos factores e incorporarlos al modelo.

Los niveles de servicio son aquellos que previenen quedarse sin productos y evitar al mismo tiempo la pérdida de clientes. Para ello es necesario calcular y marcar el nivel de inventario mínimo que se puede tener. Se establecen diferentes niveles de servicio para estos fines. También se utiliza el procedimiento de **inventario de colchón** para evitar al máximo el no tener unidades disponibles.

Anteriormente se ha tratado que el tamaño del lote es continuo, pero si se establece que el tamaño de lote es diferente, es necesario establecer diferentes ecuaciones para delimitar el impacto que éste pueda tener en el modelo. Otro problema que uno puede afrontar es el de los sistemas que contienen multi-productos.

Los modelos dinámicos ahora establecen la demanda como variante también, generando así un sistema de planeación para visualizar el **horizonte de planeación**. Debemos recordar que el objetivo es seleccionar una política de inventarios en este horizonte. El tiempo en el cual se fija la orden de inventario es llamado horizonte de inventario.

En la implementación del modelo, suponemos también que no siempre se tienen todos los datos para poder generar redes de planeación de inventario. Una nota importante es que el nivel de sofisticación del inventario debe estar basado en la importancia del producto en la familia de producto.

7. Sistemas de “jalar” descentralizados.

A través de los siguientes capítulos se podrá observar la necesidad de juntar adecuadamente cada proceso del sistema.

Es necesario empezar con la diferencia entre el **tiempo de rendimiento** y el **tiempo de espera**. El tiempo de rendimiento es aquel que requiere cuando un trabajo empieza en el taller hasta que es terminado. Este tiempo es parte del proceso de “work in progress”. El tiempo de espera es el tiempo determinado entre planear y ejecutar un trabajo, hasta completar éste.

El sistema inicia cuando en el taller se crean celdas de trabajo concentraciones de trabajos donde se pueden generar productos en serie sin necesidad de generar inventarios. Las autorizaciones de producción les dan a cada celda un permiso para generar partes y las requisiciones de material controlan el movimiento físico de las partes a través del sistema.

Los sistemas de producción kanban son sistemas de generación de valor simples que se pueden aplicar a cualquier empresa. La coordinación entre los niveles de producción y sugiere una automatización por cada celda de trabajo.

Kanban es uno de los sistemas más utilizados por el sistema de producción Toyota. Es una de las cuatro herramientas del tan sonado sistema “justo a tiempo”. Kanban incluye información del tipo de parte, el número de unidades autorizadas y la localización de materiales necesarios para hacer las piezas. Existen kanbans electrónicas y físicas, como los pizarrones con horario. Pueden existir sistemas simples de kanban, sistemas dobles de kanban o simples sistemas híbridos de kanban.

Las reglas para organizar la producción kanban son:

- 1) Regla de prioridad de un simple kanban
- 2) Reglas familiares
- 3) Cantidad de orden mínima económica, sucede cuando un operario debe reunir un cierto número mínimo de kanban para empezar cierto proceso.
- 4) Señales kanban
- 5) Producción cíclica-continua a través del tiempo
- 6) Revisión cíclica de la producción periódica

Los sistemas kanban no están restringidos a la producción interna, pueden estar aplicados a los distintos proveedores. Para lograr esto, desde los proveedores de materias primas hasta los encargados de los productos finales deben asegurar la continua recarga de partes, es decir magnificar su interdependencia.

Los parámetros específicos para generar valores por kanban son:

- Selección del tamaño de contenedor
- Selección del número de kanban
- Selección de la cantidad de producción

Para establecer kanbans, es necesario crear un medio ambiente con las siguientes características:

- 1) La demanda es aproximadamente constante durante el periodo de planeación
- 2) Tiempos de instalación pequeños
- 3) Capacidad flexible y con gran disponibilidad
- 4) Fuerza de trabajo disciplinada

Debido a que el inventario es una parte importante del sistema kanban, es necesario considerarlo. El inventario toma dos formas como; “trabajo en proceso” entre las celdas de trabajo y el colchón de seguridad entre celdas. Si tenemos implementado el sistema *Just in Time*, sin ninguna variación entonces podemos planificar nuestro contenedor kanban. Sin embargo, el “trabajo en proceso” es el resultado de la continuidad por el sistema, por lo que es necesario estimar este inventario.

El sistema kanban es diseñado para estabilizar las demandas. El número de kanban's es proporcional al cambio de la demanda del producto, si tenemos un historial del cambio de la demanda del producto, podemos satisfacer el número de kanban's para un mínimo inventario. Las etapas son constituidas por componentes fabricados y almacenados anteriormente, sin embargo, si los puntos de producción están dispersos geográficamente, es necesario establecer puntos de control intermedio, establecidos estratégicamente. Los puntos de control y las etapas dependen de la variedad del producto, los costos de almacenaje y del tiempo de ciclo requerido. Por ejemplo, podemos establecer puntos de control inmediatamente después de la operación del “cuello de botella”, o justo antes de que el producto pueda ser diferenciado en dos modelos.

El **trabajo constante en el proceso del sistema** (Constant Work-in Process, CONWIP) se refiere a que podemos controlar la producción y los niveles de inventario mediante la liberación de ciertos trabajos a otras áreas, esto con el fin de mantener un nivel de actividades en el sistema todo el tiempo. Para mantener este sistema necesitamos mantener una lista de atrasos de las partes que necesitan ser producidas, ya sea porque su nivel inventario está muy bajo o nos queremos anticipar a un incremento en la demanda. La diferencia entre el trabajo en proceso y el CONWIP, es poder prescindir del trabajo que se tiene pendiente en el proceso, ya que con el CONWIP solo debemos contar el número de actividades en proceso. La producción CONWIP ofrece ventajas como la simplificación de las operaciones y de los análisis. Los kanban's implementados con el “trabajo entre procesos”, limitan la capacidad de los amortiguadores en cada estación de trabajo y los hacen cada vez más difíciles de estimar, este requerimiento es eliminado con CONWIP. Sin embargo, a veces CONWIP requiere un mecanismo para mantener la jerarquización de la lista de atrasos y establecer las actividades en cualquier estación de trabajo.

8. Sistemas de producción multi-etapa: planeación de los requerimientos de material para demandas independientes.

En este capítulo se observan las relaciones de demanda dependiente entre los productos.

Los requerimientos de planeación de material (MRP), han sido implementados en una variedad de compañías manufactureras para guiar el proceso de planificación y control de las órdenes que abandonan el piso de manufactura. El MRP coordina la salida de las órdenes para la demanda dependiente y las transforma en una demanda dinámica generando así un mínimo inventario.

Los requerimientos para establecer el MRP son:

- Establecimiento de un elemento clave de datos para cada parte del proceso producido. Éste elemento contiene la información de la demanda actual, el costo, etc.
- Conocimiento del tiempo de espera para cada parte. Recordemos que el “lead time” mide el tiempo desde que una orden es iniciada hasta que se convierte en un producto listo para consumirse
- Debemos de mantener un historial del estado del inventario para cada producto.
- Una cuenta de materiales (bill of materials, BOM), listando todos los elementos y componentes necesarios para la manufactura de cada producto en el fábrica.
- Dividir el tiempo en fases, mostrando la cantidad de producción planeada para cada producto en el horizonte planeado.

Explosión de los requerimientos y explosión de la orden saliente.

La planeación de las órdenes salientes constituye la planeación fundamental para el MRP. La explosión de los requerimientos se refiere a moverse a través de la jerarquía del producto en un nivel a la vez, determinando los requerimientos de las partes y el inventario existente. Los términos clave para hacer la explosión de los requerimientos son los siguientes:

- Requerimientos de alto impacto
- Esquematización de recetas
- Requerimientos netos
- Planeación de las órdenes salientes.

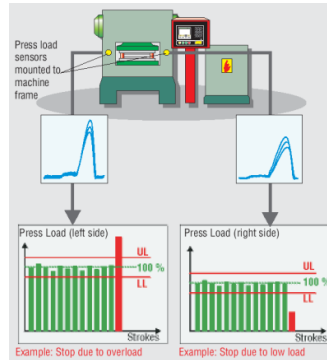
Planeación de la capacidad

Hacer una planeación de la demanda no tiene mucho sentido si la capacidad de producción es insuficiente para ejecutar el plan, por lo tanto, debemos de crear un plan para

asegurarnos de que la capacidad existe. Los sistemas MRP que promueven los requerimientos de alto impacto para una capacidad disponible son llamados sistemas de carga infinita.

Reportes de carga

Los reportes de cargas son comúnmente usados para desplegar el trabajo en las celdas, esto como resultado del plan.



Durante la explosión del MRP, cuantificamos los ordenes salientes para que el encajen en los requerimientos netos de cada periodo, esto es llamado como la política “lote por lote”, estrategia que hace que los costos sean menores y se pueda tener una demanda mas grande.

El proceso de obtener datos y de actualizarlos, puede ser realizado por un cambio en la red o una regeneración del modelo, la decisión depende en la frecuencia de las transacciones de inventario y que planes desean introducirse, en la regeneración del modelo el sistema entero es creado de nuevo. Los planes anteriores no vuelven a ser tomados en cuenta, en el cambio en la red, se actualiza frecuentemente cada transformación en el inventario, en lugar de regenerar todo el plan, solo pequeñas diferencias son puestas en marcha.

La vinculación de las órdenes nos ayuda a rastrear la fuente de la ejecución de órdenes que ha tenido un problema. Esto es útil cuando debemos de ajustar los tiempos de disponibilidad de un componente.

La planeación de órdenes firmada es un sistema que ayuda a reducir la incertidumbre de la disponibilidad de materiales así como el error en la entrega de éstos, llevando así a reducir la disminución de costos.

Limitaciones de MRP:

- Demanda dependiente
- Esquematización de la producción factible clave
- Cuenta precisa de materiales
- Registros diarios precisos de inventario
- Tiempos de espera establecidos
- Disciplina de los empleados
- Retiro de lotes de inventario conocidos en tiempos clave

Las limitaciones en el tiempo de estructura en el MRP son:

- Tiempos de bloque pausados
- Variabilidad en el tiempo de espera
- Planes no viables de capacidad, carga infinita
- Datos precisos (el MRP asume que los registros de inventario son correctos)
- Interacciones de las jerarquías de planeación

9. Los modelos multi-etapa.

En este capítulo se habla de la creación de modelos para saber el tamaño de lotes para modelos que pasan por varias etapas de producción.

El sistema más simple de multi-etapas es la estructura serial, en donde los materiales entran a la primer etapa y progresivamente pasan a la secuencia de producción hasta que el producto llega a la última etapa.

El segundo sistema es la estructura de ensamble en la que se da la convergencia simultánea de etapas.

La tercera etapa se refiere a la estructura general en la que cada etapa tiene múltiples predecesores y múltiples sucesores. Esta estructura es común cuando múltiples productos son manufacturados compartiendo los mismos componentes.

Debemos considerar dos acercamientos equivalentes para definir los niveles de inventario: inventario de instalación e inventario de escalón. Se establecen modelos para tomar decisiones en estos ambientes de control de inventario y hacer las soluciones más fáciles.

Primero se consideran problemas en donde el costo establecido no es un factor. Aquí la programación lineal fue usada como modelo en una variedad de sistemas. La solución a estos modelos puede ser realizada mediante la programación de un software matemático. Después se consideran problemas en donde el costo de establecimiento es importante y la demanda es estacionaria. Aquí se presentan modelos y soluciones que dependen de la estructura específica del producto.

Cuando la estructura se vuelve más compleja y existen diferentes caminos de una etapa a otra, se utiliza la técnica de la indagación y el descubrimiento para métodos de no rigurosos, como por ejemplo el tanteo. Finalmente se consideran problemas donde el costo de establecimiento es importante y la demanda varía en el tiempo. Aquí establecemos modelos de programación matemática donde la solución se aproxima a la realidad.

Este capítulo explica que todavía falta por investigar métodos para establecer los sistemas de lote en multi-etapa. Muchos de los materiales mencionados, fueron desarrollados entre 1970 y 1980. La investigación de estos temas ha continuado hasta ahora, sin embargo es necesario entender el trabajo previo antes de empezar con investigaciones avanzadas.

10. Manufactura Lean y filosofía “Just in-time”

Los kanban's y el sistema de jalar constituyen uno de los efectos claves para generar un sistema de producción just in-time.

Just in-time es una filosofía para optimizar el desempeño en la línea de producción. Los orígenes se establecen en la compañía *Toyota*, en Japón después de la segunda guerra mundial. Esta estrategia está basada en:

1. Producciones kanban basadas en el sistema de jalar
2. Eliminación de basura como guía de la filosofía
3. Fe en el valor producido y la importancia de la calidad
4. *Kaizen* o mejoramiento continuo de las estrategias de operación
5. Creencia en el valor de los recursos humanos
6. Énfasis en reducir los tiempos de cambio de cada maquina
7. Integración de proveedores en la compañía
8. Celdas de trabajo eficientes con un flujo continuo de material

En la filosofía lean, reducir basura es una de las partes importantes para llegar a la calidad total. La basura puede incluir:

- Sobreproducción
- Mala administración de movimiento
- Transportación
- Procesamiento del tiempo
- Pérdida de tiempo
- Productos deficientes
- Exceso de inventario

En japonés, el término basura se puede definir como “muda”, o actividades que no generan valor. También el término *Jidoka*, que es una implementación del método Toyota, hace referencia a situaciones anormales que pueden ocurrir en el proceso de manufactura. En estos casos se utilizan señales llamadas *Andon*.

Los cambios que se generan al momento de aplicar *Just in-time* son:

- Contratos de calidad con proveedores certificados
- Lotes pequeños y entrega frecuente contra cantidades grandes de entrega pero con calidad menor
- Capacidad de pedidos flexibles sin tanta burocracia
- Inventarios pequeños y fáciles de manejar

Anteriormente se trabajaba con la filosofía de que se necesitan varios inventarios entre cada estación de trabajo, sin embargo, con la implementación de *Just in-time* y manufactura *Lean*, se puede trabajar en líneas de producción llamadas primeras entradas, primeras salidas, donde la capacidad de la celda de trabajo se ve afectada por otras celdas.

Las técnicas para eliminar los errores en los procesos son llamadas en japonés *Poka-yoke*. Para implementar este sistema se necesitan:

- Checklists e inspección del trabajo
- Revisión diaria del sistema
- Pruebas de error
- Diseño de producto
- Calibración integral de las máquinas

Las estrategias utilizadas para reducir el tiempo de proceso son:

1. Diseñar partes para minimizar las operaciones y la necesidad de herramientas
2. Establecer métodos estándar
3. Dividir actividades internas y externas
4. Diseñar procedimientos para elaborar trabajos en paralelo
5. Utilizar herramientas similares para minimizar gastos
6. Localizar lugares para ubicación óptima de herramientas
7. Establecer celdas de trabajo
8. Eliminar inspección mediante procesos de calidad
9. Establecer máquinas modernas que no requieran cambios de piezas

Para determinar la capacidad de procesos se necesitan separar las causas externas que generan la variación de las causas naturales. Las causas externas pueden ser atribuidas a cambios de personal, de material, etc.

El mantenimiento total productivo (total productive maintenance, TPM) puede reducir la varianza en los datos de mantenimiento. Esto significa que se debe de dar mantenimiento a las máquinas que están en uso y así evitar paros en la producción.

La creación de celdas de trabajo proporciona una técnica dedicada a producir partes similares reduciendo los tiempos de producción y de transporte.

11. Taller de producción

Para correr efectivamente un sistema de producción, el director tiene que ser capaz de tomar decisiones en una escala de tiempo razonable, éste capítulo trata de la programación detallada de la toma de decisiones.

Es necesario encontrar el proceso de cuello de botella que debe ser utilizado eficientemente para asegurar que el sistema trabaje a su máxima capacidad, la programación involucra la localización de máquinas de y de otros recursos en tiempos precisos con objetivos precisos. Los objetivos típicos para programar resolución de problemas son: minimizar el tiempo de flujo del sistema, minimizar tardanzas, minimizar tardanzas máximas y minimizar “makespan”.

Mediante programas de modelación matemática se pueden modelar máquinas simples, modelos de flujo y problemas de trabajo. Existen reglas para optimizar problemas de máquinas simples y problemas con dos o tres máquinas complejas, sin embargo, en el momento en que incrementan el número de máquinas y de trabajos por hacer, el objetivo se vuelve no lineal o se establecen procesos en diferentes tiempos. En estos casos se establecen técnicas de tanteo que pueden resultar de gran utilidad.

12. Control de la línea de producción, Sistemas y extensiones

En este capítulo se establecen mecanismos básicos de líneas de producción, su programación y los métodos de dirección. Control de la arquitectura del sistema provee un marco de trabajo entre el cual la línea de trabajo debe operar. La arquitectura se puede definir como los nexos entre los componentes, como es que interactúan entre ellos y las formas permitidas para comunicarse. Históricamente las líneas de producción han sido siempre verticales, en donde no es permitida la interacción entre procesos. Actualmente la arquitectura del sistema promueve un sistema jerárquico del control de los sistemas.

Sistemas de la ejecución de la manufactura.

Los softwares basados en los sistemas de ejecución de manufacturas funcionan como núcleos de la línea de producción, tienen actividades como:

- Interfaces para la planeación de la producción del sistema
- Dirección de las ordenes de trabajo, dirección de las celdas de trabajo
- Dirección de las herramientas utilizadas
- Reporte de la fuerza laboral
- Rastreo del inventario
- Manejo del material
- Colección automatizada de datos
- Control de la producción y dirección
- Mantenimiento de la dirección
- Aseguramiento de la calidad
- Interface del proveedor

Alineación de la línea de ensamble es el término comúnmente utilizado para referirse a la asignación de tareas a las celdas de producción en serie. Estas tareas consisten en operaciones elementales requeridas para transformar materias primas en productos terminados.

En general, muchas alternativas son consideradas para mejorar la eficiencia de las líneas de producción:

1. Uso de herramientas de optimización y métodos alternativos sofisticados
2. Variación de los horarios de los trabajadores
3. Creación de líneas paralelas de la producción
4. Rediseño del producto y del proceso de ensamble

Un sistema de manufactura flexible (flexible manufacturing systems, FMS) consiste en utilizar maquinas controladas numéricamente e integradas al sistema para producir una gran variedad de partes. Al implementar este sistema se resuelven los siguientes problemas:

1. Selección del tipo de partes
2. Proporción de producción
3. Asignación de recursos
4. Problemas de carga