

Este documento se cita como

Garcia-Sabater, Jose P. (2020)
Líneas de Producción. Nota Técnica
RIUNET Repositorio UPV
<http://hdl.handle.net/10251/138801>

LÍNEAS DE PRODUCCIÓN. NOTA TÉCNICA

Contenido

Líneas de producción. Nota Técnica	1
Introducción	2
¿Por qué una línea es Mejor que poner más máquinas en paralelo?.....	2
Flujo sincronizado de materiales	3
Suavizar la carga de trabajo (Muri)	4
Reducir la Variabilidad (Mura).....	4
Reducir los Despilfarros (Muda)	5
<i>One Piece Flow</i> (Flujo de Una Pieza).....	6
Tipos de Líneas de Producción	8
Diseño de Líneas de Fabricación	11
Definir las máquinas que se van a utilizar	11
Definir el modo de transferencia entre máquinas	12
Dimensionar el buffer necesario entre máquinas.....	12
Definir el modo de acceso de equipos de mantenimiento y suministro de materiales y útiles a las diferentes máquinas (y la evacuación de los deshechos).....	13
Diseñar el Layout del sistema completo	14
Diseño de Líneas de Montaje	14
Establecer cómo se pasa de una estación a otra	14
Asignar Tareas a Estaciones.....	15
Definir el modo de suministro a línea de montaje.....	16
Diseñar las Estaciones	21
Diseñar el Layout de la línea, los almacenes y los servicios auxiliares.....	23
Contrarrestando los inconvenientes socio-laborales de las líneas de Fabricación....	24
Coda: Una ventaja inesperada de las Líneas de Montaje	24



INTRODUCCIÓN

En un mundo ideal de seres extremadamente inteligentes con brazos infinitamente flexibles y velocidades cercanas a la de la luz cada uno se fabricaría lo que necesitaría (quizá siguiendo un tutorial de Youtube). Pero la realidad es que no hay humanos que lo sepan hacer todo, que puedan obtener todos los productos y que los transformen y ensamblen de manera instantánea.

Por ello el animal social que es el humano ha descubierto que, si se especializa en parte de la actividad, no tiene que aprender tanto, no tiene que acceder a todo, ni tampoco ha de ser *Flash*. Basta con que aprenda a coordinarse con otros humanos.

Dividir las tareas para especializarlas y coordinar el movimiento de materiales lleva en el extremo a la construcción de líneas de producción que son más eficientes (mientras el hombre no adquiriera las capacidades anteriormente citadas).

Este capítulo trata sobre las líneas de producción. Comienza estableciendo cuándo son una buena alternativa y cuál es el último objetivo perseguido: el flujo sincronizado de materiales. A continuación, se definen los dos tipos básicos de líneas_ las de fabricación y las de montaje. Para cada una de ellas se presenta una breve introducción sobre cómo se diseñan. Casi se termina el capítulo con una revisión de cómo contrarrestar sus inconvenientes (generalmente asociado a prejuicios de corte psicológico) y por ello se termina el capítulo indicando una ventaja inesperada.

¿POR QUÉ UNA LÍNEA ES MEJOR QUE PONER MÁS MÁQUINAS EN PARALELO?

Las estaciones en paralelo son más flexibles (se pueden activar y desactivar), son más fáciles de coordinar y controlar (cada una es independiente y su productividad se puede comparar), son más fáciles de adaptar a cambios en el producto (basta con cambiar la estación en la que quiera ejecutar el producto). La vida del encargado es más fácil.

Como contrapartida: paralelizar es generalmente más caro (aunque más fácil). La cantidad de trabajo a realizar es mayor, las estaciones en paralelo exigen replicar el equipamiento, incorporan mucha actividad de no valor añadido en forma de movimientos (macro y micro), el trabajo en curso total es mayor...

En las líneas (ya sean de fabricación o montaje), los tiempos de ciclo más corto favorecen el **efecto aprendizaje** de los equipos de trabajo al multiplicar el número de veces que se repite una misma tarea. Además, al reducir el tiempo de ciclo, la carga cognitiva de las operaciones (su dificultad) es menor, por lo que es más fácil sustituir a un trabajador por otro.



Las máquinas son, en las líneas, más específicas, pero necesitan hacer menos tareas diferentes por lo que pueden ser más eficientes y requerir menor inversión (cada una de ellas), aunque el acumulado podría ser más caro. Y también más inflexible.

Las actividades de los equipos de trabajo son más fáciles de controlar, puesto que se controlan entre sí, y cualquier desequilibrio se muestra en forma de niveles de stock intermedio o trabajadores ociosos.

La línea de producción, en principio, reduce la variedad de producto posible, pero al haber poca variedad de producto es fácil diferenciar y separar las actividades que añaden valor de las que no añaden valor. Y una vez separadas es posible optimizar unas y otras.

Las tareas de una línea de fabricación están relacionadas entre sí, a través del producto que conforman. Esto establece un conjunto de relaciones de precedencia que deben ser respetadas al diseñar la línea.

FLUJO SINCRONIZADO DE MATERIALES

Henry Ford quiso fabricar coches a bajo coste. Charles Sorensen pensó que la línea de montaje era el único modo. Le debió costar convencer a su jefe porque la idea de mover coches hacia cajas de tornillos es contraintuitiva.

Afirma Taichi Ohno que el *Just In Time* fue una visión de Kichihiro Toyoda. La idea del *Just In Time* como modo de suministrar piezas a la línea de montaje es tan contra-intuitiva como la línea. *Es difícil ver ventajas a suministrar sólo lo que hace falta ahora y no "aprovechar el viaje"*.

La coordinación de las actividades de transformación y ensamblaje es una actividad compleja que involucra a muchos actores. Ejecutar una actividad exige que todos (personal) y todo (equipos y materiales) estén disponibles en el mismo momento en el mismo lugar.

Como eso es difícil de conseguir se fabrica y sirve antes de que haga falta, al mismo tiempo que se dispone de más personal y más maquinaria de la que hace falta. Sólo así es posible garantizar que todo está disponible.

Pero esa es una situación ineficiente: maquinaria parada, trabajadores ociosos y mucho material ocupando mucho espacio exigen más esfuerzos de coordinación.

El flujo sincronizado de materiales (y quien dice materiales dice actividades) no es una meta concreta que se alcanza. Siempre habrá aspectos que podrán ser modificados para alcanzar el sistema de producción ideal que con los mínimos recursos posibles fabrica el producto que desea el cliente, en la cantidad y momento que lo desea.

En el camino hacia el flujo sincronizado de materiales el director de operaciones irá teniendo que encontrar la combinación adecuada de cada una de las herramientas que configuran el catálogo que se agrupa bajo el nombre de *Lean*.



Cada etapa de ese camino tratará de reducir sobrecargas de trabajo (*Muri*), la variabilidad (*Mura*) y los despilfarros (*Muda*).

A medida que vaya avanzando verá que hay otras maneras de hacer, y nuevos despilfarros que identificar y nuevas variabilidades que reducir.

En ese camino probablemente se encuentre con líneas de montaje (más o menos visibles) con mezcla de modelos, abastecidas por “pequeños trenes” o por “sistemas de conveyor aéreo” desde células de montaje y de fabricación, que suministran algunas piezas mediante sistemas *kanban* (con cada vez menos producto) y otras de modo secuenciado.

Implementar los cambios necesarios para conseguir un flujo sincronizado de materiales tiene un proceso de aprendizaje largo, con costes en el corto plazo que sólo serán aceptados si se percibe como un objetivo estratégico de la organización.

Reducir el *mura*, *muri* y *muda*, no es suficiente para alcanzar el flujo sincronizado de materiales. Es necesario un esfuerzo positivo en el vector flujo de una pieza. Y es ese esfuerzo el que hace más visibles los despilfarros, los desequilibrios en las cargas de trabajo y la variabilidad en los procesos, desencadenando las mejoras que se atribuyen al lean manufacturing.

SUAVIZAR LA CARGA DE TRABAJO (MURI)

De acuerdo a los resultados de la teoría de colas, éstas crecen con la variabilidad en la entrada y en el servicio y no desaparecen por la saturación del sistema.

La variabilidad en la llegada de carga de trabajo recibe un nombre específico en la terminología Lean (*Muri*). Sobrecargas instantáneas de trabajo (llegadas de pedidos simultáneas) generan colas (en forma de personas en los servicios, en forma de WIP en las empresas. Variación en la carga de trabajo a lo largo del año pero no variación en la capacidad de los trabajadores (jornadas rígidas de 7h45 mins) generan colas por efecto del no alisado de la carga de trabajo.

Equilibrar la carga de trabajo a lo largo del tiempo de trabajo (utilizando conceptos como *Heijunka*) permite elevar los niveles de utilización de las máquinas sin provocar incrementos no deseados en el *work in progress*.

Al eliminar las cargas de trabajo ligadas a los controles de calidad (y las rectificaciones en su caso) se reduce también la variabilidad ligada a la naturaleza no determinista de la calidad (o falta de la misma).

REDUCIR LA VARIABILIDAD (MURA)

Para un cierto enfoque de la filosofía Lean todo pasa por reducir la variabilidad (*Lean-Seis Sigma* fue una expresión clara de ese enfoque).

La estandarización de los procesos, las 5S y otras herramientas básicas permiten, además de otros beneficios, reducir la variabilidad del tiempo de operación. El uso



This obra by Jose P. García-Sabater is licensed under a
Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-
CompartirIgual 3.0 Unported License.

<http://hdl.handle.net/10251/138801>

ROGLE - UPV

extensivo del TPM y concretamente del mantenimiento preventivo, permite evitar la variabilidad que supone la parada inesperada de la máquina.

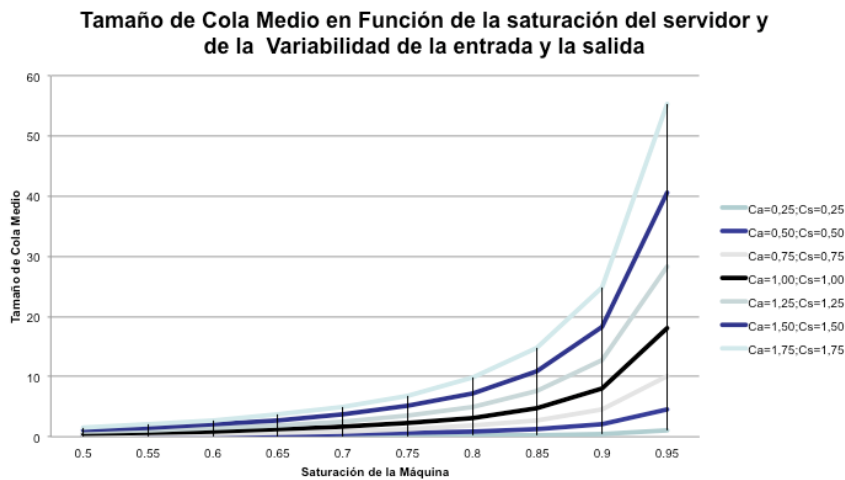


Ilustración 1: Tamaño de Cola en función de la variabilidad

El tiempo de preparación es también una fuente de variabilidad (la primera de las piezas del lote cuesta mucho más de producir que las demás). La reducción del tiempo de cambio de partida genera mejoras no sólo liberando capacidad de máquina y haciendo posibles lotes más pequeños, si no también reduciendo la variabilidad.

Al reducir la variabilidad los stocks que está genera se vuelven superfluos.

REDUCIR LOS DESPILFARROS (MUDA)

En los entornos de fabricación ajustada se suele poner el foco en la reducción de los despilfarros, es decir en todas aquellas tareas y actividades que no generan valor pero mantienen al personal o el espacio ocupado. Se suelen listar los siguientes 7 despilfarros:

1. Transportes
2. Inventarios
3. Movimiento
4. Esperas
5. Sobre Producción
6. Sobre Procesado
7. Defectos

Algunos autores defienden un octavo despilfarro, la capacidad de los trabajadores para pensar. Aunque nunca está de más pensar un poco, no acabo de entender la relación entre el flujo sincronizado y que cada trabajador piense.

En algunos casos los despilfarros son el resultado de decisiones externas (diseño del layout, falta de robustez de los procesos) pero en muchas otras ocasiones son la

expresión física de la necesidad que tiene el sistema de mantener un cierto nivel de stock (en piezas o en tiempo) para protegerse de la variabilidad y sobrecarga exterior.

El inventario (en sí mismo), el movimiento adicional al que supone colocar y coger piezas del inventario, el transporte (porque ya no cabe cerca lo que se está produciendo) son despilfarros que son el resultado evidente de *mura* y *muri*.

ONE PIECE FLOW (FLUJO DE UNA PIEZA)

Si *Mura*, *Muri* y *Muda* son factores negativos (aspectos a eliminar) el *OnePieceFlow* se presenta como un objetivo a perseguir.

Dos son las maneras básicas de entender el diseño de un proceso cuando el foco se pone en las conexiones entre elementos: “gestión de uno en uno” (*One Piece Flow*) y la “gestión de montañitas” (los *buffers*).

El flujo de una pieza pretende que el tránsito entre etapas se produzca de manera inmediata tras la producción de cada unidad, y que la cantidad de producto entre etapas esté limitada. Si es posible limitada a Uno.

El flujo con buffers establece “montañitas” de trabajo entre etapas consecutivas que protegen a unas etapas de las anteriores y de las posteriores. El tamaño del buffer puede estar físicamente limitado o no. Limitar la capacidad de puede empeorar la productividad de los recursos en cada una de las etapas, pero mejora el tiempo de tránsito e incrementa la presión para reducir sobrecargas, variabilidades y desperdicios.

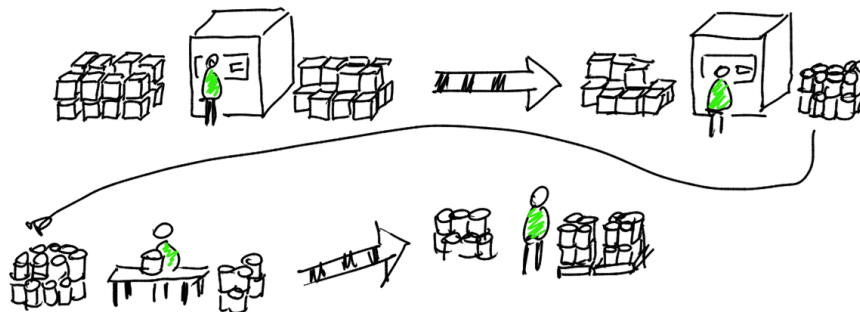


Ilustración 2: Montañitas por aquí, montañitas por allá

Antes de comenzar a eliminar stocks y distancias intermedias hay que entender que los “montoncitos” tienen muchas ventajas, da seguridad, permiten creer al trabajador que mientras haya trabajo pendiente el trabajo está asegurado e independizan a unos de otros. Además, una organización no orientada al flujo de una pieza es mucho más fácil de gestionar y de controlar. Esas ventajas (que son ventajas para los individuos pero no para la organización) se convertirán en mil razones (¿excusas? para oponerse al cambio).

Las ventajas más relevantes del *flujo de una pieza* se pueden explicitar.



- Reducción del trabajo-en-curso (*work in progress* (WIP) en inglés) en la práctica es más bien el trabajo que está esperando para estar en curso.
- Reducción del tiempo de tránsito. Por aplicación directa de la ley de Little si se reduce el tamaño de la cola, se reduce proporcionalmente el tiempo de estancia en el sistema.
- Convierte al proceso en transparente
- Anticipa el control de defectos de fabricación.
- Exige y genera agilidad
- Favorece la detección de oportunidades de mejora.
- Asegura un entorno de trabajo más seguro.
- Mejora la “moral” del trabajador (en realidad puede mejorarla porque se sienta parte de un equipo)
- Incrementa la productividad.
- Favorece la detección de “desperdicios” en el sistema.
- Simplifica los procesos de suministro
- Libera espacio en planta



Ilustración 3: One Piece Flow

Las barreras que más pueden impedir la implementación del flujo de una pieza son de tipos:

- a. Tecnologías diseñadas para optimizar el proceso y no el flujo
- b. Tiempos de cambio de partida elevados, procesos para trabajar en lotes
- c. Distancia física entre etapas
- d. Defectos y variabilidad en las materias primas
- e. Disponibilidad de recursos limitada y concentrada en el tiempo

Pero, sin duda, la limitación más relevante será siempre la de las personas a las que, sin cambiarles las demás condiciones de contorno, se les pide que trabajen en un proceso de tipo *one piece flow* donde subirá el nivel de exigencia. Y, como casi todo el mundo anticipa, el flujo de una pieza acaba convirtiendo la organización en una línea de fabricación con todas sus ventajas (y sus inconvenientes).

Adiós a la independencia, hola a la interdependencia



This obra by Jose P. Garcia-Sabater is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Unported License.

<http://hdl.handle.net/10251/138801>

ROGLE - UPV

Tabla 1 Herramientas para el Flujo Sincronizado de Materiales

	RESPECT Gente	JIDOKA Máquinas	Flexible GEMBA	HEIJUNKA Demanda	JIT Materiales
Tirar – Jalar (PULL)	<ul style="list-style-type: none"> Shojinka, Multifunción 	<ul style="list-style-type: none"> Máquinas Pequeñas 	<ul style="list-style-type: none"> Flat Storage Flexible Layout 	<ul style="list-style-type: none"> Planificación en Cascada 	<ul style="list-style-type: none"> Kanban Kitting Just On Time
Reducir Variabilidad (Mura)	<ul style="list-style-type: none"> Estándar Worksheet Heijunka Box 	<ul style="list-style-type: none"> TPM Maqs Viejas 	<ul style="list-style-type: none"> Máquinas con Ruedas 	<ul style="list-style-type: none"> Eliminar Ofertas que requieren 	<ul style="list-style-type: none"> Plan For EveryPart Estándar SKU
Eliminar Desperdicio (Muda)	<ul style="list-style-type: none"> Andon PokaYoke Factoría Visual 	<ul style="list-style-type: none"> Karakuri Paro Automático 	<ul style="list-style-type: none"> Distribución Celular 	<ul style="list-style-type: none"> Políticas Anidadas 	<ul style="list-style-type: none"> Separar Manutención de Operación
One Piece Flow	<ul style="list-style-type: none"> Línea de Montaje Yamazumi 	<ul style="list-style-type: none"> SMED MMAL 	<ul style="list-style-type: none"> U-Cells Chaku-Chaku 	<ul style="list-style-type: none"> Takt Time 	<ul style="list-style-type: none"> Milk Runs con Water Spider

TIPOS DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

El modo más habitual de implementar el *one piece flow*, son las líneas de producción. En ellas las máquinas y recursos se ordenan según la secuencia de tareas y los productos pasan de una a otra de un modo directo (más o menos automatizado).

Dejando de lado los procesos de tipo químico (con sus instalaciones en continuo) se puede distinguir, **en función de los procesos** que ejecutan entre líneas de montaje y líneas de fabricación.

En las **líneas de montaje** los productos se realizan por la agregación de materiales, por ello se puede decir que los flujos de llegada de los materiales son muy relevantes. Además, en las líneas de Montaje, suele haber mano de obra cuando la línea está en marcha, realizando actividades al ritmo de las operaciones. La actividad fundamental durante el diseño de estas líneas es el denominado equilibrado de líneas y el diseño del puesto de trabajo.

En las **líneas de fabricación** (que pueden ser de mecanizado, de estampación, de soldadura...) se produce una transformación sucesiva de los productos. La materia prima entra al principio de la línea y el producto avanza, siendo transformado, y el único flujo relevante (de existir) sería el de desalojo del material sobrante. El factor humano interviene mayormente cuando las máquinas se paran, pues son los técnicos de mantenimiento los que toman el control. En el diseño de las líneas de Fabricación es más relevante el diseño de los *buffers* y los elementos de manutención que pasan un producto de una estación a la siguiente.

En función del modo según el que se mueve el producto entre estaciones se distingue entre líneas **automáticas y manuales**. En las manuales es el trabajador quien mueve el producto, mientras que en las automáticas hay algún tipo de mecanismos que mueve el producto de un sitio a otro. Estos mecanismos pueden ser cintas transportadoras, mesas de transferencia, AGVs... El producto puede ir sobre un soporte (o no) y en el caso de que vaya sobre soporte este puede ir (o no) anclado a la “cadena de montaje”.

En función de quien marca el ritmo de trabajo las líneas pueden ser **paced o unpaced**. En un sistema **paced** la línea o cadena de montaje como soporte es la que mantiene una velocidad constante en el movimiento del producto. En estas estaciones los trabajadores se desplazan con el producto para poder ejecutar las operaciones, y si la operación no se ejecuta el producto pasa a la siguiente estación (salvo que haya algún modo de parar la línea. En las líneas **unpaced**, el producto no avanza hasta que no se le da autorización para ello. En este tipo de líneas es relevante la posición en la que se colocan las estaciones con más carga de trabajo (absoluta o relativa). Poner las estaciones con mucha carga de trabajo al principio dejará el sistema libre, si la actitud (o la habilidad) de las personas es variable, poner al que tiende más a despistarse en el centro hará que el sistema sea más productivo, pues será presionado por el anterior y con margen para seguir empujando producto hacia adelante.

En función de **la variedad de productos** que se pueden fabricar en una línea se distingue entre líneas monomodelo, multimodelo y con mezcla de modelos.

Las **líneas monomodelo** sólo pueden fabricar un producto. La línea está diseñada de tal manera que cuando se cubre la demanda para ese producto se debe parar la máquina (salvo que se pueda reequilibrar para bajarle la velocidad).

Las **líneas multimodelo** permiten transformar varios tipos de producto. Pero no de manera consecutiva. La preparación de la línea consistirá en cambiar las estaciones para adaptarlas al nuevo producto. Cambiar de un modelo a otro es una operación complicada que se puede realizar básicamente de dos maneras:

- a. dejando que el lote se finalice para comenzar a fabricar el siguiente o
- b. descargando la línea completamente del material a medio elaborar y dejarlo preparado para el siguiente lote.

En cualquier caso, cuanto mayor sea el coste de preparación más largos deberán ser los lotes de producción (y por tanto los stocks de materias primas y de producto final). Para dimensionar los lotes de producción es conveniente utilizar alguna técnica cuantitativa (Vidal-Carreras, Garcia-Sabater and Garcia-Sabater, 2017)(Vidal Carreras and García Sabater, 2006)



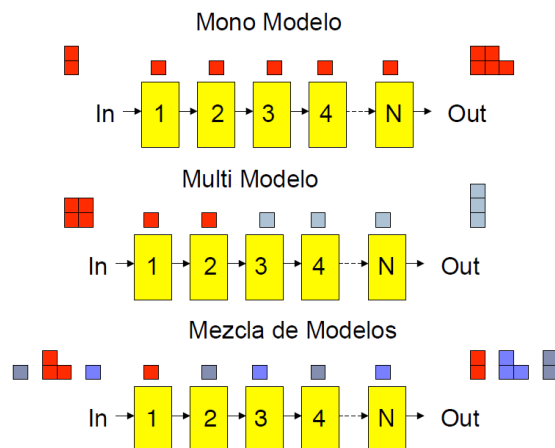


Ilustración 4: Mono Modelo, MultiModelo, Mezcla de Modelos

Las **líneas con mezcla de modelos** eliminan el tiempo de setup, o lo reducen tanto que lo incorporan en el tiempo de ciclo de la tarea. De este modo se puede alcanzar el concepto de **one piece flow**. *One Piece Flow* es disponer el equipamiento para que el flujo de materiales se alinee y las operaciones se balanceen para ser capaces de producir de acuerdo al tiempo de *takt* (Miltenburg, 2001). La secuenciación de este tipo de líneas es una decisión importante que afecta tanto al suministro de materiales (Maheut and García Sabater, 2015) como a la carga de trabajo (Valero-Herrero *et al.*, 2014)

Los productos continúan siendo homogéneos pero la línea admite que haya variantes durante el proceso y la cantidad de las mismas que se puede fabricar puede variar. Es un hecho que es muy difícil hacer que todas las tareas sean multimodelos, así que es muy posible que algunas estaciones sean específicas para algunos productos. En ese caso la programación de las actividades ha de ser cuidadosa para no desbalancear las actividades. (Castro *et al.*, 2017)

Pero aún en este caso, la programación y el control de las operaciones de un sistema en línea es relativamente sencillo, puesto que de hecho sólo hay un lugar al que dar órdenes: “el principio de la línea”. De hecho, se convierte en lo que se conoce como problema de una máquina. El control es también más sencillo, puesto que basta con controlar la salida y evitar que los productos se almacenen en medio. Además, las estaciones controlan a las inmediatamente anteriores, puesto que se quedan sin actividad si dejan de funcionar.

DISEÑO DE LÍNEAS DE FABRICACIÓN

En una línea de fabricación las máquinas se disponen de tal modo que se facilita el flujo continuo de los productos entre máquinas consecutivas. Los productos pueden ser discretos como una carrocería o “continuos” como el agua que se embotella. Entre ambos extremos (cajas de cartón, latas de coca-cola, platos de paella, cigüeñales para el motor, techos de coche, baldas para estantería...) se encontrarán tantos tipos de líneas de fabricación casi como tipos de productos.

En cualquier caso, se puede decir que el diseño de una línea de fabricación tiene 5 etapas básicas en el diseño

1. Definir las máquinas que se van a utilizar para realizar las operaciones.
2. Definir el tipo de sistemas de transferencia entre máquinas
3. Cuantificar el buffer necesario entre máquinas
4. Definir el modo de acceso de equipos de mantenimiento y suministro de materiales y útiles a las máquinas (y la evacuación de los deshechos)
5. Diseñar el Layout del sistema completo

DEFINIR LAS MÁQUINAS QUE SE VAN A UTILIZAR

Las máquinas que se van a utilizar (prensas de gran tonelaje, fresas y tornos de CNC, robots de soldadura, hornos -de curado-, abatidoras de temperatura, cortadoras, pesadoras, plegadoras, envasadoras...) dependen extraordinariamente del proceso. Las diferentes tecnologías que las empresas proveedoras suministran incluyen tiempos de ciclo (con mayor o menor variabilidad), tiempos de setup (con mayor o menor intervención de trabajadores), disponibilidad (averías y mantenimientos programados, con requerimiento de mano de obra *on-site* o *online*)...

La calidad del producto, la fiabilidad de la máquina, la versatilidad en el cambio de producto, el soporte del vendedor ante problemas son algunos de los criterios que junto con el precio, la financiación y los costes operativos deben ser tenido en cuenta.

En el diseño de algunas líneas de fabricación es habitual comenzar con un sistema poco automatizado mientras se comprueba que el producto va a tener la demanda prevista y que las máquinas principales serán capaces de dar los resultados previstos. En esos casos las tareas las hacen inicialmente operarios que saben que su destino es ser sustituidos por máquinas en un proceso que se suele denominar “industrialización”. Con la industrialización se van sustituyendo manos por manipuladores y ojos por sensores una vez el producto y el proceso han sido validados.



DEFINIR EL MODO DE TRANSFERENCIA ENTRE MÁQUINAS

Varios son los modos de transferir producto de una máquina a otra:

- Manualmente
- Robots manipuladores
- Producto sobre soporte que se mueve sobre vías.
- Cintas transportadoras (o similares) que circulan por dentro de la máquina

El producto en la máquina puede tener que parar o puede ser transformado mientras sigue moviéndose.

En ocasiones en lugar de parar el producto lo que se puede hacer es ralentizarlo. En otras ocasiones lo que se le exige al sistema es que separe el producto, una estrategia para ello es acelerar la cinta transportadora en ese tramo.

DIMENSIONAR EL BUFFER NECESARIO ENTRE MÁQUINAS

Al diseñar una línea de mecanizado hay que diseñar no sólo el modo de conexión sino también el buffer a colocar entre máquinas, la cantidad de producto que puede llegar a haber. El buffer exige espacio físico y una inversión en equipos, además el tránsito del producto a lo largo del buffer se percibe como una pérdida de tiempo. Por tanto, lo natural sería no poner buffer. Natural pero ineficiente.

Las máquinas de una línea de mecanizado están conectadas unas con otras. Sea un sistema con n máquinas en serie y cada una de ellas con una disponibilidad a . Si no hay buffer entre las máquinas la disponibilidad del sistema se calcula como $d=a^n$. Esto es si la disponibilidad de la máquina individual es $a=95\%$ y $n=5$ entonces la disponibilidad de la línea es del 77%. Sin buffer entre máquinas la variabilidad matará la productividad.

Dado que últimamente en demasiadas empresas se compran líneas de transferencia (cintas de transporte entre máquinas) se repite el ejercicio. Si la empresa tiene 3 secciones consecutivas y trabajan con un OEE de un 70% (lo que sería aceptable) si las conecta con cintas de transporte el nuevo rendimiento del sistema será un 35%. Y ese 35% siempre que las cintas no sean el nuevo cuello de botella (que pasa).

Si las máquinas de la línea de mecanizado son multimodelo (es decir pueden transformar muchos tipos de productos, pero exigen un cambio de útiles) será bueno coordinar el *setup*, lo que habitualmente se llama programación de producción. Una alternativa a la coordinación del *setup* es la disposición de un buffer entre máquinas (García Sabater, 2011).



Algunas máquinas trabajan en lotes (por ejemplo, antes de entrar al horno. El lote que espera no es un buffer que vaya a proteger contra la variabilidad. No es tampoco un buffer una línea de enfriado a la salida del horno. En principio el buffer debe poder fluctuar libremente.

Si entre máquinas hay una cinta transportadora, o un transportador de rodillos no es un buffer, salvo que el contenido pueda fluctuar.

Cuando el buffer posterior se llena, la máquina anterior se encontrará en una situación de bloqueo, incrementando su nivel de utilización (de manera aparente) y por tanto requieren. Cuando el buffer se vacíe la máquina posterior se quedará *starving* incrementando (de modo aparente también), su nivel de utilización.

Como indica la teoría de colas (Gross *et al.*, 2008), un incremento en el nivel de utilización se corresponde de modo no lineal con un incremento en el buffer necesario, pero como el buffer está lleno, se produce una parada y por ello una pérdida de productividad.

El dimensionamiento de los *buffers*, se puede hacer utilizando métodos intuitivos (“a ojo de buen cubero”) o analíticos (usando teoría de colas), pero dada la complejidad de cualquiera de estos sistemas el mejor modo de hacerlo es mediante simulación de eventos discretos.

DEFINIR EL MODO DE ACCESO DE EQUIPOS DE MANTENIMIENTO Y SUMINISTRO DE MATERIALES Y ÚTILES A LAS DIFERENTES MÁQUINAS (Y LA EVACUACIÓN DE LOS DESHECHOS)

Esta etapa no requiere mucha explicación. Únicamente requiere que no se olvide.

Es muy habitual, es casi inevitable, que los ingenieros de procesos, concentrados en la programación de los PLCs y el movimiento del robot de última generación que han comprado olviden que las máquinas hay que mantenerlas, aprovisionarlas, eliminar desperdicios.

Todo el mundo sabe que eso son tareas muy fáciles de diseñar comparadas con programar un PLC y encima no añaden valor. Son tareas que puede diseñar cualquiera. No hace falta estudiar electromecánica para diseñar un pasillo para que el trabajador de mantenimiento pueda llegar a revisar los niveles de aceite, para poder entrar con los componentes que incorpora la tolva, para evacuar el plástico que está generando el robot.

Por eso no entraba en el plan de estudios que siguieron, y quizá por eso mismo no conocen la repercusión que en el OEE tendrá la falta de cuidado al definir los modos de acceso necesarios. Porque quizá la máquina se pueda poner en marcha



This obra by Jose P. Garcia-Sabater is licensed under a
Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-
CompartirIgual 3.0 Unported License.

<http://hdl.handle.net/10251/138801>

ROGLE - UPV

de nuevo en 5 minutos, pero el equipo de mantenimiento tardará no menos de media hora en llegar.

DISEÑAR EL LAYOUT DEL SISTEMA COMPLETO

Una vez entendidos todos los flujos y los procesos, conocidos por donde entran y salen productos, componentes, útiles, materiales es el momento de disponer en la superficie las máquinas de la línea.

Dado que son máquinas requerirán algunos pequeños detalles como alimentación de energía eléctrica, aceite, aire comprimido, agua caliente, que generalmente llegarán por el vuelo, y lo que tenga que salir es posible que salga por el suelo.

Que la línea se vea como tal, que sea posible acceder a todos sus lados, que sea fácil expandirla, que sea segura para los trabajadores que a ella acceden son aspectos a tener en cuenta al diseñar la planta en la que la línea producirá

DISEÑO DE LÍNEAS DE MONTAJE

En una línea las máquinas y los trabajadores se disponen de tal modo que se facilita el flujo continuo de los productos entre estaciones consecutivas. Aunque cada línea de montaje es diferente, todas se caracterizan porque el flujo de materiales que llegan a la línea de montaje es tan importante, como está misma. Además, la mayor parte de las líneas de montaje. De este modo se puede decir que el diseño de una línea de producción tiene 5 etapas básicas:

1. Establecer cómo se mueve el producto de una estación a otro
2. Asignar tareas a estaciones
3. Definir el modo de suministro de materiales a las diferentes estaciones (y la evacuación de los desechos)
4. Diseñar las estaciones
5. Diseñar el layout del sistema completo

ESTABLECER CÓMO SE PASA DE UNA ESTACIÓN A OTRA

La tarea de transferir el producto de una estación a otra no añade valor, pero es la clave de cualquier línea de fabricación.

Las estaciones pueden trabajar a producto quieto y por tanto hay que dedicar un tiempo para que el producto salga de la estación antes de que entre el siguiente. Si el producto se sigue moviendo mientras el equipo de trabajo realiza su actividad, el producto entrará en la zona de actividad y se alejará de la misma, llevándose el producto del espacio natural de trabajo del equipo, aunque este no



haya acabado. En este segundo caso el equipo de trabajo deberá volver a la posición original de algún modo.

El producto puede ir asociado a su soporte de manera constante, o puede ser que cambie de soporte entre estaciones consecutivas, o que el propio producto sea el soporte.

Y el soporte/producto se puede deslizar de una etapa a otra hasta tropezar con el producto anterior (o alcanzar la estación) –como en una montaña rusa- o puede ir anclado a la cadena de montaje –como en una noria- moviéndose en vacío si el producto no llegó a tiempo a subirse “al cangilón”.

Es también muy relevante establecer cuál es la capacidad del buffer que entre dos estaciones consecutivas se va a permitir, aunque esto se suele hacer tras haber asignado las tareas a estaciones.

ASIGNAR TAREAS A ESTACIONES

Una línea de montaje está formada por eslabones denominados estaciones. La asignación de tareas a las estaciones es un problema clásico de la investigación operativa denominada “*Line Balancing*” (Boysen, Fliedner and Scholl, 2007) que se traduce por **Equilibrado de Líneas**.

La combinación de la estructura del producto junto con el modo de desplazamiento del mismo genera un conjunto de tareas que deben ser asignadas a cada estación.

El equilibrado de líneas original trata de crear una asignación de tareas que minimice el número de estaciones, pero respetando que la carga de trabajo en las estaciones sea menor que el *tiempo de takt*.

Además, se deben respetar las restricciones de precedencia o de zona. Las restricciones de precedencia son limitaciones que indican que una tarea debe ser realizada antes o después de otra. Las restricciones de zona pueden ser positivas (ambas tareas tienen que estar en la misma estación), negativas (no pueden estar en la misma estación) o límite (han de estar en estaciones consecuentes).

La asignación de tareas a estaciones puede ser generada por el equipo o impuesta. Si es impuesta exige una definición de las tareas y de sus duraciones. Puede ser realizada “a mano” o utilizando algún tipo de herramienta cuantitativa (generalmente optimización combinatoria). Si se deja que el equipo de trabajo se auto-equilibre, entonces hay que dotarles con herramientas (por ejemplo, los diagramas *Yamazumi*) que permita fácilmente visualizar unas y otras.



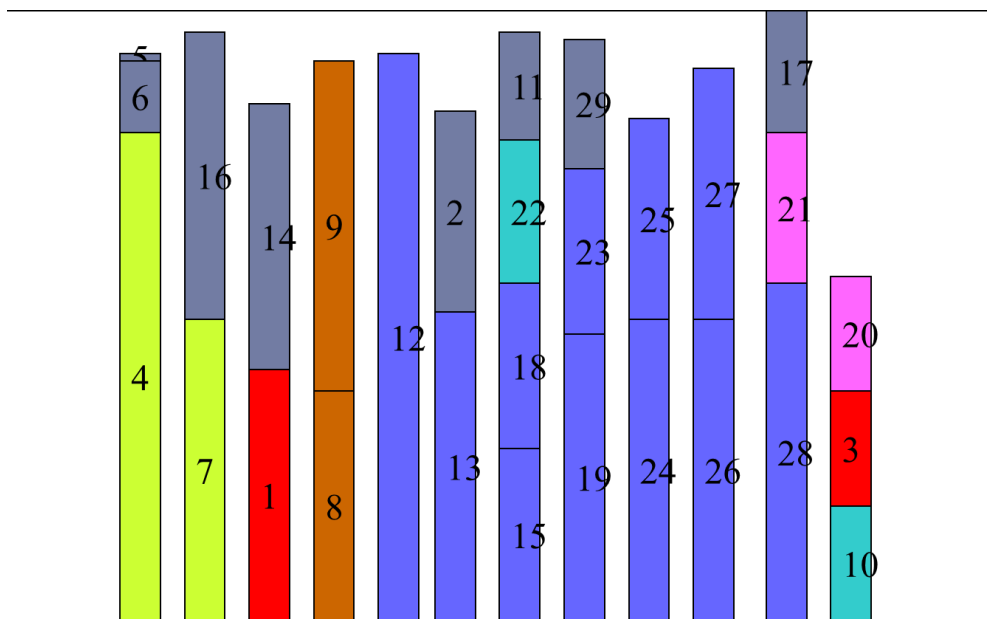


Ilustración 5: Ejemplo Yamazumi para una línea con 12 estaciones y 28 tareas

La asignación de tareas a estaciones puede ser estática o dinámica. En el esquema estático el diseñador de la línea establece qué actividad realiza cada una de las estaciones. Y los trabajadores realizan las tareas que tienen asignadas, hasta que la asignación cambie. En el esquema dinámico se pueden utilizar estrategias como “baton-baton” o “chase-rabbit”.

Dado que el efecto aprendizaje actúa de una manera importante en las líneas de fabricación (es uno de los efectos buscados) es natural que la asignación natural de la línea de producción se des-equilibre con el paso del tiempo. Además, y sobre todo en las líneas con mezcla de modelos, la mezcla de productos puede variar. En ese caso es habitual favorecer el rediseño de la línea de modo dinámico.

Este rediseño continuo se puede hacer de modo estructurado o simplemente permitiendo que los trabajadores cojan (o dejen) tareas a las estaciones inmediatamente precedentes o consecuentes.

DEFINIR EL MODO DE SUMINISTRO A LÍNEA DE MONTAJE

En el caso de las líneas de montaje es necesario definir también el modo de suministro de los componentes y subconjuntos a cada una de las estaciones.

Las piezas a suministrar pueden ser grandes (menos de 0.3 m³) o pequeñas. También pueden tener muchas variantes, pocas o sólo una. Las piezas pueden tener un único punto de consumo o varios.

Las piezas pueden estar disponibles de 2 maneras diferentes:

- a) Al lado de la línea (side line)
- b) Llegan con el producto en forma de Kit

Los componentes que están al lado de la línea pueden llegar en diferentes cantidades

- a) Stock en grandes contenedores (>1 m³)
- b) Stock en pequeños contenedores (*kanban, tarjetas, cajas*)
- c) Sin stock: entrega unitaria.

Los componentes que llegan con el producto (dentro de él, en una caja adjunta o en una bolsa atada) reducen los movimientos totales del operador, pero exigen que en otro lugar se genere el kit.



Ilustración 6: Imagen de caja de kit en el interior de un coche

Aparentemente tener todo el stock a pie de línea reduce la complejidad de las tareas. Tal y como se reciben los componentes se envían allí donde hace falta. Esa decisión simplifica la tarea de recepción y complica la tarea de montaje.

La distribución en poca cantidad supone que en línea hay para poca cantidad de tiempo (o que el producto es muy pequeño) y que hay que suministrar muy a menudo, pero adicionalmente supone que el operario de la línea tardará menos tiempo en encontrarlo y cogerlo.

Tres son los tipos básicos de modos de dar órdenes para recibir material que se corresponden con la cantidad de stock en línea:

- a) por punto de pedido
- b) por revisión periódica
- c) en secuencia (*sequenced delivery*)



Estos tipos son los básicos de los que los demás son pequeñas variantes (en una fábrica de automóviles se pueden llegar a encontrar 7-8 variantes diferentes (Boysen *et al.*, 2015)) pero algunos como autocall of refilling son variantes de esos tres

La gestión por punto de pedido (generalmente asociada a disponer el stock a pie de línea) consiste en dar la orden de enviar la unidad de carga completa a la estación cuando se alcance un determinado nivel de stock, depositarla en línea y devolver el contenedor vacío al punto de uso. En algunas instalaciones es el operario de la línea el que monitoriza el stock y llama (*call*) pidiendo más producto.



Ilustración 7: Del almacén a la línea (Fuente:Saez Más)

Dicho nivel de stock puede ser el realmente disponible en línea (lo que exige conexión de la línea de montaje con el almacén) o virtual (dado que sabemos qué productos se están enviando podemos saber cuándo se acabarán las unidades – *autocall*-). Suele ir asociado a componentes de gran volumen y de gran consumo. La cantidad a pedir (el tamaño de lote) suele ir asociado a la cantidad en el soporte, que suele ser el resultado de un trabajo de ingeniería que trata de introducir la máxima cantidad de piezas por rack. Este tipo de método suele ir asociado a entregas puntuales, más o menos estocásticas, de uno o a lo sumo dos productos simultáneamente a la línea.

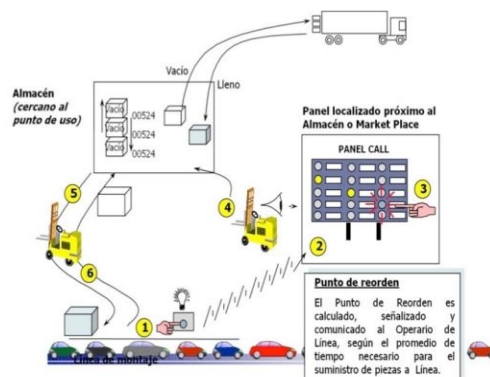


Ilustración 8: Sistema Call (Fuente: TFM de Tortajada, 2001)



El número de entregas, el tiempo asociado a las mismas y su variabilidad permite dimensionar la flota de carretilleros necesaria para que la línea no pare. El almacén de reserva desde donde se sirve a la línea debe diseñarse teniendo en cuenta el número de referencias y la cantidad de stock de cada producto. Este último suele ir vinculado al tipo de relación con el proveedor de cada conjunto de piezas. En estos entornos el uso de herramientas de información apropiadas es básico (García-Sabater, Sabater and Marin-Garcia, 2008)

La gestión por revisión periódica (generalmente asociado a unidades de carga de pequeñas dimensiones) implica establecer un método en el que en cada periodo de tiempo establecido se repone en la estantería el stock necesario para cubrir el siguiente periodo. Este método de gestión suele llevar asociado el diseño de una ruta de reparto que recorre un número más o menos importante de posiciones. En muchas ocasiones (aunque erróneamente) a este sistema se le denomina *Kanban* y está asociado a los métodos de trabajo denominados *Just In Time* o *Lean*. La cantidad de producto “a rellenar” –el número de tarjetas *Kanban* - a reponer cuando se utiliza- se calcula como un nivel de stock que permite cubrir la demanda hasta la siguiente reposición, con la consiguiente cobertura de seguridad.

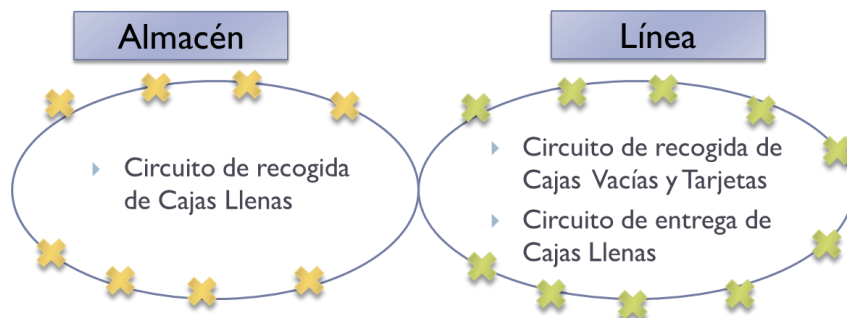


Ilustración 9: Los circuitos en el suministro a línea de montaje

El periodo de revisión/reposición se establecerá como un equilibrio factible entre demasiadas reposiciones (lo que incrementa los costes fijos de desplazamiento entre el almacén y el punto de uso) y pocas reposiciones (lo que incrementa la cantidad de stock en línea). El diseño del almacén de reposición exige el diseño de un almacén de reserva (para el producto recibido de proveedor) y del almacén de picking que generalmente tendrá una disposición inversa al recorrido a la línea de montaje que va a servir.



Internal Material Flow

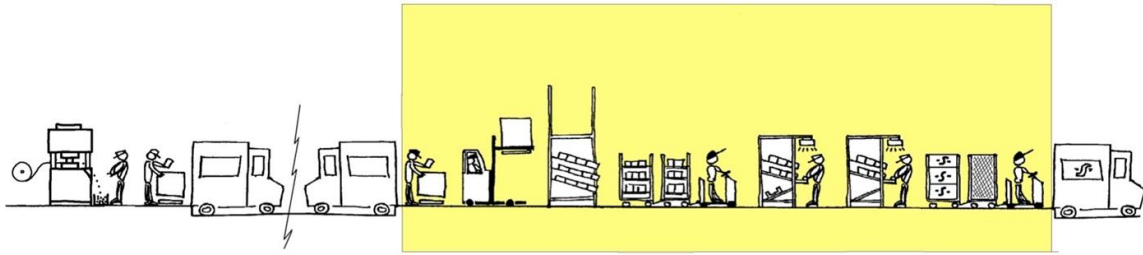


Ilustración 10: Niveles en la adopción de la Mejora Continua (Fuente: Scheneider Electric Documentación Interna, 2011)

Cuando la variedad de los materiales a servir es elevada (y por tanto la cantidad de cada uno de ellos es reducida) el método de suministro puede/debe ser diferente. Un modo apropiado es enviar a la estación el material en el orden y cantidad exacta en el que va a ser utilizado. En ese caso el envío se realiza cuando se sabe cuál es el siguiente producto que hay que montar en la línea.

El modo de hacer llegar de manera continua el material a la línea puede adoptar, al menos, las siguientes formas:

- elementos en continuo como el transporte aéreo o la cinta transportadora
- transporte terrestre utilizando carretillas tractoras
- incorporadas al propio producto (principal) en una bolsa o caja.

El uso de carretillas (el más habitual y el más flexible) tiene impactos muy importantes en la seguridad de las personas que no se debe despreciar (Sáez Más and García-Sabater, 2016)

Si el producto es un submontaje de gran tamaño llegará al punto de uso a través de un medio continuo en un esquema *one piece flow*.

Productos más pequeños justifican crear soportes que contengan varias unidades consecutivas. En ese caso, el “carro con las secuencias” se va llenando poco a poco a medida que se van secuenciando unidades a la línea de montaje. El carro se debe enviar como tarde cuando el tiempo de tránsito hasta el punto de uso sea igual al tiempo que tardará en llegar al punto de uso la primera unidad del carro que se está secuenciando.

Para que dé tiempo a llenar el carro secuenciado y luego enviarlo, es necesario avisar con suficiente anticipación de cuál será la siguiente unidad que va a llegar a la estación.



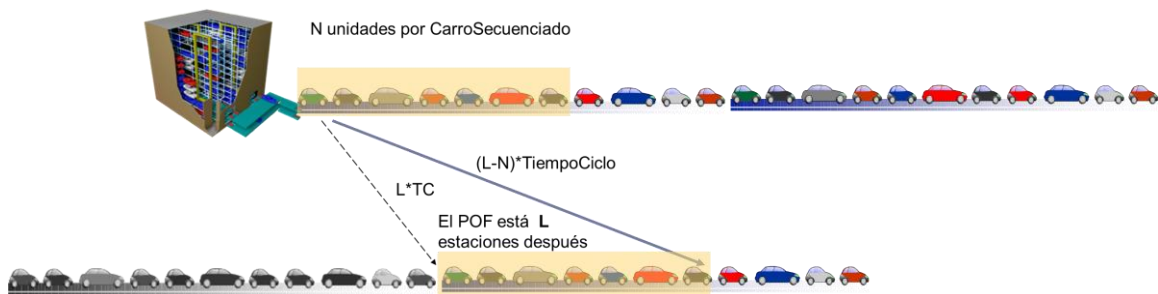


Ilustración 11: Niveles en la adopción de la Mejora Continua (Fuente: Garcia Sabater, 2011)

Una decisión relevante para este tipo de sistema de aprovisionamiento es el número de carros de secuencia que tiene que haber en el circuito. Evidentemente siempre tiene que haber uno en el punto de creación del carro y otro en punto de destino, y otro más desplazándose entre un sitio y el otro. El número de carros por encima de estos 3 dependerá de los tiempos de tránsito y de la capacidad utilizada real del carro en unidades.

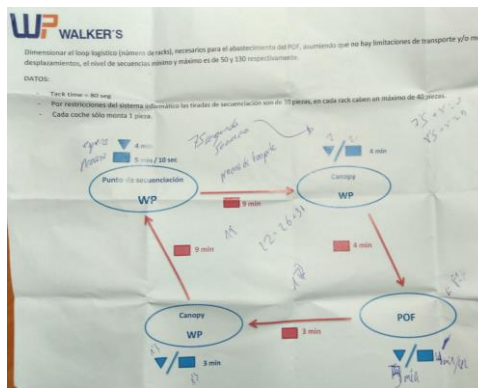


Ilustración 12: Ejercicio para la selección de un trabajador (Fuente: Me lo dio un candidato)

En ocasiones no es necesario hacer un submontaje. Basta con agrupar las piezas que van a ser necesarias. En ese caso el modo de suministro se llama Kit. El Kit puede ir directamente al punto de uso (si todo el kit se utiliza en el mismo sitio), o puede incorporarse al producto en un momento previo en la línea de montaje y acompañar al producto a lo largo de la línea. El proceso de creación del kit es una *picking* convencional y como tal puede ser manual o automático.

La definición de un sistema complejo como el descrito más arriba, nunca ocurre de repente. En las más de las ocasiones se hace porque no hay más remedio (limitaciones de espacio) y el sistema empieza a evolucionar poco a poco.

DISEÑAR LAS ESTACIONES

Cada estación en una línea de producción se convierte en un lugar donde el producto “a posición fija” debe ser manipulado.

Como en toda distribución en planta sus necesidades han de ser estudiadas antes del diseño. Pero en esta, dadas las características de corto tiempo de ciclo, el diseño con detalle de los movimientos a realizar adquiere mucha importancia para eliminar, reducir o transferir las actividades con cargas ergonómicas no deseadas, así como las **actividades de no valor añadido**.

La posición de los materiales que se reciben, el lugar de almacenamiento de las herramientas y utillajes, los lugares de paso deben ser ubicados en algún lugar en el espacio.

Son de especial relevancia, por su efecto en la salud de los trabajadores –y por tanto en la productividad a medio plazo-, las consideraciones ergonómicas. Desde el tipo de suelo utilizado hasta las máquinas “de gravedad cero” pasando por la iluminación y los lugares de descanso.



Ilustración 43. Instalación de un happy seat en un puesto de montaje²⁶.

Herramientas sencillas como los diagramas de *Espaghetti*, o más complicadas como la realidad virtual, pasando por simulaciones realizadas con cajas de cartón son necesarias para entender la disposición de cada uno de los componentes y herramientas.



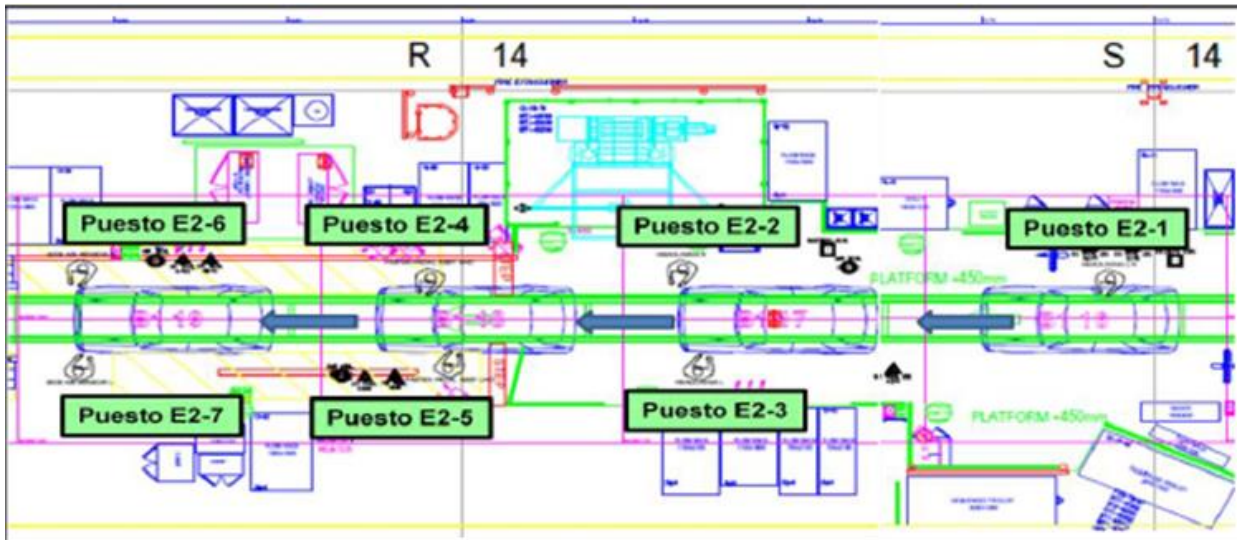


Ilustración 13: Layout línea de Montaje(Fuente: Un TFM que pidió guardar confidencialidad)

DISEÑAR EL LAYOUT DE LA LÍNEA, LOS ALMACENES Y LOS SERVICIOS AUXILIARES

Una vez entendido el modo de aprovisionamiento el diseño de la distribución en planta de la línea de fabricación debe incluir los almacenes de materias primas, así como los de producto acabado. Debe, desde luego incorporar todas las líneas auxiliares que hayan sido creadas además de considerar los buffers necesarios para el funcionamiento de la instalación.

Al disponer en las instalaciones una línea de fabricación o montaje generalmente se dobla sobre sí misma para no ocupar una superficie demasiado alargada con los problemas que esto puede generar para la entrada de materiales y operarios.

Los almacenes (incluyendo los lugares donde se preparan los kits) suelen estar alrededor del núcleo central que supone la línea de montaje.

La asignación de productos a los almacenes se hace teniendo en cuenta la cercanía al punto de uso, pero también hay que tener en cuenta que el proveedor no tenga que realizar múltiples descargas en la misma planta.

Cuando el proveedor suministra poca cantidad de producto o poca variedad, es habitual que se disponga de un centro de consolidación (aún más lejos del núcleo central) que suministre en Just In Time al almacén cercano a línea. De este modo se podrá utilizar de modo más eficiente el espacio cerca de la línea que por razones obvias es más pequeño y más caro.

La línea de montaje suele llevar asociada una cantidad importante de personas. Y las personas requieren servicios auxiliares (comedor, aseo, descanso) y un movimiento controlado de las personas a dichos lugares. La gestión de todas las



This obra by Jose P. Garcia-Sabater is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Unported License.

<http://hdl.handle.net/10251/138801>

ROGLE - UPV

personas requiere espacios de reunión y comunicación (cada vez más en la propia planta, junto al puesto de trabajo) que faciliten la coordinación de los equipos.

Un aspecto cada vez más importante en la disposición de los productos es la seguridad en planta, que con el incremento del tráfico de todo tipo de carretillas y del movimiento de personas, se ve afectada.

CONTRARRESTANDO LOS INCONVENIENTES SOCIO-LABORALES DE LAS LÍNEAS DE FABRICACIÓN

Uno de los principales inconvenientes de las líneas de trabajo es que la división de las tareas aliena (separa) al trabajador del producto que realiza. Esto puede provocar desmotivación en los trabajadores. Para hacer frente a ello las organizaciones con líneas de trabajo adoptan diferentes estrategias como el **job enlargement**, el **job enrichment** o el **job rotation**.

Con el *job enrichment* (o enriquecimiento vertical) se pretende motivar al trabajador haciéndole asumir responsabilidades de orden superior a las exclusivas de la actividad productiva –controles de calidad, supervisión de ritmos de trabajo, propuestas de mejora.

El *job enlargement* (o enriquecimiento horizontal) extiende el alcance de un puesto de trabajo asignándole responsabilidades del mismo nivel que las previamente asignadas (más tareas, pero con el mismo nivel de responsabilidad).

El *job rotation* (rotación de puestos) es una táctica por la que se cambia regularmente la asignación de tareas a los trabajadores. La rotación en el puesto de trabajo se puede realizar por muchos motivos, siendo uno de ellos reducir el nivel de tensión que provoca “hacer siempre lo mismo”. Una correcta aplicación de los sistemas de rotación en puesto de trabajo requiere de trabajadores multifunción convenientemente entrenados.

CODA: UNA VENTAJA INESPERADA DE LAS LÍNEAS DE MONTAJE

Henry Ford da cuenta en su autobiografía de una ventaja inesperada:

“Hice clasificar todas las operaciones distintas en la fábrica, según la índole de máquina y del trabajo, (...) contaban en la fábrica 7882 clases distintas de operaciones, entre las cuales (...) 3595 clases de trabajo ninguno requería esfuerzo físico... (...) eran clasificados, a su vez, para comprobar cuáles requerían el uso completo de las facultades; comprobóse entonces que 670 trabajos podían confiarse a hombres faltos de ambas piernas; 237 requerían el uso de una sola pierna; en



This obra by Jose P. Garcia-Sabater is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Unported License.

<http://hdl.handle.net/10251/138801>

ROGLE - UPV

dos casos se podía prescindir de ambos brazos; en 715 casos, de un brazo, y en 10 casos, la operación hubiera podido corresponder a un ciego...” (Ford, 1922)

Una circunstancia relevante en el momento de diseñar líneas de fabricación con personas es destacar que no todas las personas tienen las mismas habilidades.

Y, dado que el número de operaciones que se realizan en cada estación es reducido, existe la posibilidad de aprovechar especialmente las habilidades de las personas para mejorar la productividad, adaptando el puesto de trabajo a la persona, o eligiendo la persona para el puesto de trabajo (Miralles *et al.*, 2007).

Esto es especialmente interesante para la integración en el puesto de trabajo de personas con diversidad funcional y especialmente con aquellas con discapacidad intelectual, con mayores dificultades para su integración laboral en la denominada “sociedad del conocimiento”.

BIBLIOGRAFÍA

Boysen, N. *et al.* (2015) ‘Part logistics in the automotive industry: Decision problems, literature review and research agenda’, *European Journal of Operational Research*. Elsevier, 242(1), pp. 107–120.

Boysen, N., Fliedner, M. and Scholl, A. (2007) ‘A classification of assembly line balancing problems’, *European journal of operational research*. Elsevier, 183(2), pp. 674–693.

Castro, R. *et al.* (2017) ‘HIGHER EDUCATION-INDUSTRY INTERACTIONS AND EMPLOYMENT IN EUROPE: A CLAIM FOR SOCIAL RESPONSIBILITY’, in, pp. 5004–5008. doi: 10.21125/inted.2017.1166.

Ford, H. (1922) *My life and work*. Double Day.

García-Sabater, J. P., Sabater, J. J. G. and Marin-Garcia, J. A. (2008) ‘Optimización de los recursos humanos a través de las TIC: resultados de la reorganización laboral de un proveedor logístico’, *Economía industrial*. Ministerio de Industria, Energía y Turismo, (370), pp. 143–151.

García Sabater, J. P. (2011) ‘Teoría de colas’, *Grupo ROGLE*, 66.

Gross, D. *et al.* (2008) *Fundamentals of queueing theory*. Wiley.

Maheut, J. and García Sabater, J. P. (2015) ‘Reglas de secuenciación en el problema de secuenciación en línea de montaje con mezcla de modelos’, *Working Papers on Operations Management*. Universitat Politècnica de València, 6(2), pp. 39–48.

Miltenburg, J. (2001) ‘One Piece Flow Manufacturing on U-shaped production lines: A tutorial’, *IIE Transactions*, 33(4), pp. 303–321. doi: 10.1023/A:1007642522626.



This obra by Jose P. García-Sabater is licensed under a
Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-
CompartirIgual 3.0 Unported License.

<http://hdl.handle.net/10251/138801>

ROGLE - UPV

Miralles, C. *et al.* (2007) 'Advantages of assembly lines in Sheltered Work Centres for Disabled. A case study', *International Journal of Production Economics*, 110, pp. 187–197. doi: 10.1016/j.ijpe.2007.02.023.

Sáez Más, A. and García-Sabater, J. P. (2016) 'Protocol: Material flow risk evaluation for layout design', *WPOM-Working Papers on Operations Management*. Universitat Politècnica de Valencia, 7(2), p. 43. doi: 10.4995/wpom.v7i2.5710.

Valero-Herrero, M. *et al.* (2014) 'Solving the Car Resequencing Problem with mix banks', *Dirección y Organización*, pp. 36–44. Available at: <http://revistadyo.com/index.php/dyo/article/view/458> (Accessed: 5 February 2015).

Vidal-Carreras, P. I., Garcia-Sabater, J. P. and Garcia-Sabater, J. J. (2017) 'A practical model for managing inventories with unknown costs and a budget constraint', *International Journal of Production Research*. Taylor & Francis, 55(1), pp. 118–129. doi: 10.1080/00207543.2016.1198056.

Vidal Carreras, P. I. and García Sabater, J. P. (2006) 'El Problema de la Programación del Lote Económico (ELSP): una revisión de la literatura', *X Congreso de Ingeniería de Organización: Valencia, 7-8 de septiembre, 2006, págs. 1-10*, pp. 1–10. Available at: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5869501> (Accessed: 7 January 2019).



This obra by Jose P. Garcia-Sabater is licensed under a
Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-
CompartirIgual 3.0 Unported License.

<http://hdl.handle.net/10251/138801>

ROGLE - UPV