

Definición, Clasificación y Aplicación del Sistema Kanban

Paula Andrea Pérez Vásquez

**Programa de Ingeniería industrial
Universidad Tecnológica de Pereira
Pereira, Colombia
2007**

Definición, Clasificación y Aplicación del Sistema Kanban

Paula Andrea Pérez Vásquez

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Industrial
en Ingeniería Industrial

Director
Ingeniero Jorge Hernán Restrepo Correa

Programa de Ingeniería Industrial
Universidad Tecnológica de Pereira
Pereira, Colombia
2007

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Pereira, agosto de 2007

*A mi Papá, porque más que un padre
es mi amigo, por su apoyo, sacrificio,
consejos y buen ejemplo, porque sin él
no hubiera podido llegar hasta aquí.*

*A mi abuelita,
por su paciencia.*

*A mi hermanita,
por su compañía y amistad.*

*A Carlos, por su ayuda,
y por traer felicidad a mi vida.*

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Tecnológica de Pereira, a los profesores Jorge Hernán Restrepo correa y Eduardo Cruz por todos los valiosos aportes para la realización de este trabajo. A todas las personas que participaron directa o indirectamente en la elaboración de este documento.

INTRODUCCIÓN

Es bien sabido que uno de los aspectos importantes a los que las empresas deben prestarle especial cuidado si quieren surgir y permanecer en el mercado es la competitividad, una de las formas de competir es ofrecer productos de excelente calidad a bajos costos y entrega oportuna; para lograr esto se requiere de flexibilidad, las empresas deben ser susceptibles a cambios o variaciones según las circunstancias, las necesidades de los clientes o la demanda.

Las condiciones del mercado cambian constantemente y para dar respuesta a esto sin incurrir en altos costos se requiere de una planeación de producción donde se fabrique exactamente lo requerido en el tiempo necesario, la mejor solución pareciera ser una técnica o estrategia y en efecto lo es, esta técnica está en manos del *Justo a Tiempo (Just in Time JIT)*; una filosofía Japonesa que surgió con el ánimo de reactivar la economía a mediados del siglo XX después de la guerra. En términos de ubicación temporal, el JIT tiene más de medio siglo, si consideramos las primeras aplicaciones exitosas en Toyota y Nissan y su internacionalización alrededor de 25 años.

En el último cuarto de siglo su influencia a escala internacional ha sido enorme, por una parte, han impulsando nuevas formas de integración industrial (*Lead production, modular production*) y, por otra, han cambiado profundamente la cultura empresarial y laboral frente a conceptos como productividad y calidad, además han incurrido en procesos de innovación con miras al perfeccionamiento, profundización y mejora de los procesos originales.

Para muchas compañías Japonesas el corazón del proceso JIT es el Kanban, quien directa o indirectamente maneja mucho de la organización manufacturera. El sistema Kanban está trabajando exitosamente en plantas en todo el mundo ya que ha sido el pilar de los sistemas modernos de manufactura. Kanban se soporta sobre los sistemas Pull (Halar), donde se produce sólo para los requerimientos del cliente y no para un inventario.

Kanban es una palabra japonesa que significa tarjeta o boleto. Es un sistema de información manual que desarrolló Toyota para implementar el sistema Justo a Tiempo .

Kanban también se define como un sistema de producción altamente efectivo y eficiente, el cual tiene unas funciones principales que son el control de la producción y la mejora de procesos; por el control de la producción se entiende la integración de los diferentes procesos, buscando mejoras continuas para eliminar desperdicios tales como reducción de tiempos de alistamiento y

organización de áreas de trabajo. Kanban se enfoca en la eliminación de sobreproducción y facilita el control de materiales. El está definido para fábricas de producción con procesos repetitivos.

Para poder implementar el Kanban es necesario comprender cuales son las reglas que lo regulan, las partes que lo componen, la información requerida en la tarjeta que hace que el personal maneje de manera estandarizada el proceso; todo esto con el propósito de reducir inventarios en proceso e inventario finales, también, con el objetivo de flexibilizar la producción suministrando información rápida y precisa y así minimizar la pérdida de tiempo.

Diariamente en las clases del área de producción desde la ingeniería de métodos hasta la simulación de procesos se aborda el uso del Kanban como una herramienta que ayuda a suavizar el movimiento de materiales a lo largo del proceso productivo, en cada materia se toca aisladamente dependiendo de la necesidad del tema tratado, pero en ningún momento se profundiza en este concepto. El Kanban es definido solo como una tarjeta de señal que informa al puesto de trabajo anterior cuándo producir y en qué cantidad.

Kanban no es solo una tarjeta, por tanto Kanban requiere ser definido, categorizado y explicado para poder implementarlo correctamente. Esto hace que sea necesario estudiar a profundidad dicho tema con el propósito de agrupar todas las temáticas que exponen de manera clara el correcto uso e implementación de esta metodología.

ÍNDICE GENERAL

Introducción	vi
Índice general	viii
Lista de figuras	xi
Lista de tablas	xii
1 QUE ES EL KANBAN	1
1.1 Origen	1
1.2 Nivelado de la Producción	3
1.3 Sistema de Empujar (PUSH)	5
1.4 Sistema de Halar (PULL)	6
1.5 El sistema Kanban - Pull Donde se Debe	8
1.6 Definición	10
1.7 El sistema Kanban	12
2 FUNCIONES DEL KANBAN	15
2.1 Control de la Producción	16
2.2 Mejora de los Procesos	17
2.2.1 Eliminación de desperdicios	17
2.2.2 Organización del Area de Trabajo	18
2.2.3 Reducción del Set-up (Alistamiento)	18
2.2.4 Utilización de Maquinaria versus. Utilización con Base en la Demanda	19
2.2.5 Manejo de Múltiples Procesos	19
2.2.6 Dispositivos para la Prevención de Errores (POKA-YOKE)	19

2.2.7	Mantenimiento Preventivo	19
2.2.8	Mantenimiento Productivo Total	20
2.2.9	Reducción de los Niveles de Inventario	20
3	REGLAS DEL KANBAN	22
4	TIPOS DE KANBAN	27
4.1	Kanban de Producción	27
4.2	Kanban de Señal	27
4.3	Kanban de Transporte Entre Procesos	28
4.4	Kanban de Proveedores	28
5	IMPLEMENTACIÓN DEL KANBAN	29
5.1	Cuándo se Necesita un Sistema Kanban	29
5.2	Pasos Previos al Kanban	30
5.3	En que tipos de trabajo se puede aplicar el Kanban?	31
5.4	Fases del Kanban	31
6	COMO CIRCULA EL KANBAN	35
6.1	Flujo de las Cadenas de Producción Kanban-Controladas	35
6.2	Señales del Sistema Kanban	36
6.3	Doble Sistema Kanban	38
6.4	Señales Híbridas de Sistema Kanban	39
6.5	El Caso Toyota	40
7	ESPECIFICACIÓN DE PARÁMETROS DE EVALUACIÓN	44
7.1	Selección del Tamaño del Container	44
7.2	Selección del Número de Kanbans	48
7.3	Selección de la Cantidad de Producción	52
8	TARJETAS KANBAN	55
8.1	Las Tarjetas Kanban	55

<i>ÍNDICE GENERAL</i>	x
8.2 Contenido y Diseño de las Tarjetas Kanban (Un Caso de Estudio)	57
8.2.1 Materia Prima	58
8.2.2 Trabajo en Proceso (WIP)	60
8.2.3 Producto Terminado	62
9 COSTOS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA	64
10 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SISTEMA KANBAN	69
10.1 Kanban y Otros Métodos	69
10.2 Limitaciones del sistema Kanban	71
10.3 Desventajas	72
10.4 Ventajas	72
10.5 Promotor de Mejoras	73
11 ALGUNAS EXPERIENCIAS	75
11.1 SCHNEIDER ELECTRIC	75
11.2 HARRY WINSTON RARE TIMEPIECES	78
11.3 ALPARGATAS ARGENTINA	79
12 ACTIVIDAD EN CLASE	84
13 CONCLUSIONES	86
Bibliografía	88

LISTA DE FIGURAS

1.1	Esquema de Sistema de Producción PUSH	5
1.2	Esquema de Sistema de Producción PULL	8
1.3	PULL Interno y Externo	9
1.4	Esquema del Sistema Kanban	14
6.1	Señal del Sistema Kanban	36
6.2	Doble Sistema Kanban	38
7.1	Ilustración del Cubrimiento Kanban: Emparejando el Sistema a una Futura Demanda	49
8.1	Proceso de Producción de Waterville TG	58
8.2	Tarjeta Kanban de Materia Prima	59
8.3	Tarjeta Kanban de Trabajo en Proceso	60
8.4	Tarjeta de Identificación ID	62
8.5	Tarjeta Kanban P y E de Producto Terminado	63
10.1	Sistemas Kanban	71
10.2	Sistemas Centralizados	71

LISTA DE TABLAS

7.1	Costo de Mantenimiento de material y factores de productividad	47
7.2	Datos de la pieza 23A567	51
7.3	Datos de operación para el ejemplo 7.4	54

1. QUE ES EL KANBAN

El *Just in Time* (JIT) se gestó durante los años 70 en las plantas Japonesas de Toyota [1] con el ánimo de reconstruir su economía a mediados del siglo XX. Puede entenderse como una nueva filosofía productiva basada en tres principios básicos: eliminar todo tipo de despilfarro y actividad sin valor añadido en el proceso productivo, conseguir la participación y compromiso de todos los agentes que participan en dicho proceso, incluido proveedores y mejorar continuamente. Estos principios se traducen en una serie de prácticas entre las que se destacan principalmente la reducción de tiempo de preparación de las máquinas (Set-up), el trabajo en lotes pequeños, el aprovisionamiento de calidad justo a tiempo, la simplificación del diseño de los productos, la utilización de trabajadores multifuncionales y trabajo en equipo, la formación y entrenamiento de empleados, la implantación de programas maestros de producción estables, el nivelado de la producción, el mantenimiento preventivo, el control de la calidad total, la distribución en planta celular y por productos y el *sistema Kanban*.

El sistema Kanban ha sido estudiado intensamente en los últimos años, y muchos modelos han sido propuestos para entender su comportamiento y analizar su funcionamiento [2] (Uzsoy y Martín Vega 1900). Di Mascolo, Frein y Dallery (1996) y Di Mascolo (1996) propone el método más general analítico para evaluar el funcionamiento de las clases de sistemas Kanban con etapas en serie donde la demanda llega de acuerdo al proceso general. El proceso de la demanda puede ser tan general como se desee cuando el tiempo entre llegadas de dos demandas es representado por una distribución etapa-pieza.

1.1 Origen

A inicio de la década de los 50, muchas empresas Japonesas, realizaban pronósticos sobre la demanda, según los resultados colocaban los productos. En muchas ocasiones producían más de lo exigido por la demanda. El mercado no era capaz de consumir estas cantidades, y la clientela no se sentía satisfecha, puesto que sus gustos y preferencias no eran tenidos en

cuenta. Se producía el denominado “*efecto látigo*”: *mayor producción, más stock y menor servicio*.

Para hacer frente a este problema, ingenieros japoneses hicieron un viaje de estudio a Estados Unidos en los años 50, allí analizaron la manera como funcionaban los supermercados, observaron las operaciones y descubrieron dos sucesos que les parecieron importantes:

- Las secciones del supermercado presentan una capacidad limitada de productos, puesta a disposición de los clientes.
- Cuando estos productos alcanzan un nivel mínimo, el responsable de la sección saca los productos del almacén y repone la cantidad que ha sido consumida.

En los supermercados, quien determina lo que va a suceder es el cliente. Los clientes llegan al supermercado sabiendo que en todo momento encontrarán en los estantes pequeñas cantidades de los artículos que requieren. Como confían en que siempre habrá lo que necesiten, les basta tomar una pequeña cantidad y se van con su compra.

Los clientes saben que al regresar dos o tres días más tarde, el supermercado habrá repuesto los artículos comprados y que nuevamente encontrarán en los estantes pequeñas cantidades de cada cosa que necesita. No sienten, la necesidad de acumular, de llevarse más de lo que necesitan.

Un empleado del supermercado pasa con regularidad a ver que se han llevado los clientes, se repone exactamente la misma cantidad que se ha quitado de cada estante. En el supermercado no hay papeleo; no hay órdenes de compra o de entrega que le indique al empleado que artículo colocar sobre los estantes. En realidad, al retirar los artículos los clientes mismos le han dicho al empleado lo que debe colocar ahí.

Los japoneses interpretaron el hecho de que una sección de productos (o un contenedor) esté vacía, como una orden (orden de reposición de productos). Esto despertó en ellos la idea de una tarjeta o etiqueta de instrucción en japonés: Kanban; en la cual se muestre la tarea a efectuar; y posteriormente, la idea de una nueva técnica de producción, una producción a flujo tenso, en la cual un producto es enviado hacia un puesto de trabajo sólo cuando la orden ha sido emitida por

este puesto de trabajo.

Teniendo en cuenta lo anterior, satisfacer la demanda real del consumidor sería el objetivo principal, al mismo tiempo que minimizar los tiempos de entrega, la cantidad de mercancías almacenadas y los costos. Permitir que sea el mercado quien “Hale” las ventas: Que sea el pedido el que ponga en marcha la producción, y no la producción la que se ponga a buscar un comprador, todo esto utilizando un sistema de halar con el fin de poder abastecer al cliente con el pedido previsto, el día previsto, y a un costo mínimo.

Un sistema de halar es una manera de conducir el proceso de fabricación de tal forma que cada operación, comenzando con el muelle de despachos y remontándose hasta el comienzo del proceso, va halando el producto necesario de la operación anterior solamente a medida que lo necesite. Esto contrasta con el ciclo industrial tradicional que fabrica un producto y lo empuja hacia la siguiente operación aunque esta no este lista para recibirlo.

Desde entonces ésta técnica se desarrolló muy rápidamente en Japón, específicamente en la empresa Toyota y comenzó a funcionar bien desde 1958. La generalización de esta idea al sistema de producción devendría en el sistema Kanban.

1.2 Nivelado de la Producción

El método que se utiliza en los sistema Just in Time (JIT) para adaptar la producción a la demanda se denomina *nivelado de la producción*, [3] y su objetivo es reducir las fluctuaciones de las cantidades a fabricar de cada familia de productos.

La demanda de los productos puede cambiar considerablemente según la estación, lo que afecta a los volúmenes mensuales de producción; o incluso puede ser mayor en los primeros días de un mes que en los últimos. *El nivelado de la producción total* intenta regular este desequilibrio, procurando que los volúmenes de producción sean lo más constante posible.

En este sentido, si se considera la producción de una familia de artículos, inicialmente se prepara un plan de producción mensual, a partir de las previsiones y los pedidos en firme. *El nivelado de*

la producción total consiste en determinar el volumen diario de la producción, de modo que se mantenga aproximadamente constante.

Este volumen diario no indica las cantidades exactas que se deben fabricar, sino una guía para advertir a los responsables de los centros de trabajo cuáles van a ser sus necesidades en un futuro próximo.

Una vez que se han dispuestos los recursos necesarios para producir, aproximadamente las cantidades que proporciona el nivelado de la producción, se establece la programación exacta, que solo se entrega a las estaciones de la línea de montaje; y desde allí, mediante la utilización de un sistema de señales se desencadena el proceso de fabricación en las líneas de fabricación de componentes que abastecen la línea de montaje.

A partir del nivelado de producción se elaboran los programas que indican las cantidades y el orden con que los productos deben atravesar la línea de montaje.

En un sistema JIT, las líneas de fabricación que abastecen de componentes a los puestos de montaje se coordinan con dichos puestos mediante un sistema de información que permita reponer las piezas que se consumen en el montaje final.

Los sistemas tradicionales de producción se caracterizan por la utilización de sistemas de producción tipo Push (empujar). Esta forma de producción genera, a partir de pedidos en firme y previsiones, las órdenes de aprovisionamiento y producción, que se controlan mediante un sistema de identificación centralizado. Así, la finalización de dichas órdenes desencadenan el lanzamiento de los correspondientes procesos posteriores que son “empujados” por los precedentes.

Como contraposición a estos sistemas de información, en los sistemas JIT se utilizan sistemas de información Pull (halar). En un sistema Pull el consumo de material necesario para un proceso desencadena la reposición por el proceso precedente, se reemplaza el material consumido por el proceso posterior.

Debe ser claro que se precisa nivelación de la carga como base apropiada para el buen funcionamiento del sistema Kanban. Cada cliente le dice a cada proveedor lo que debe hacer cada

hora. El proceso funciona como los eslabones de una cadena. Para que la cadena no se rompa, la producción tiene que ser siempre continua y regular. Si un cliente llegara donde el proveedor y se llevara algún artículo en cantidad suficiente para un año, el sistema entero no quedaría sincronizado.

1.3 Sistema de Empujar (PUSH)

Un sistema de empujar comienza con un programa de ensamble o un calendario de despachos que se introduce en el computador. Este computador “fracciona” el programa hacia atrás al siguiente nivel en el proceso de fabricación, y lo ajusta según el tiempo de producción con el fin de informarles a los que fabrican los subensambles qué se necesitan y en qué momento. Los requisitos para el subensamble, que están igualmente en el computador, se fraccionan hacia el nivel de sus componentes, con sus respectivos tiempos de fabricación y así sucesivamente por todo el proceso de fabricación hasta llegar a las materias primas.

A lo largo de este proceso se genera papeleo para decirle a cada persona lo que debe fabricar y para qué fecha. Los programas o los pedidos del taller se envían a la fábrica y las órdenes de compra o de entrega van a los proveedores [3,4], ver Figura 1.1.

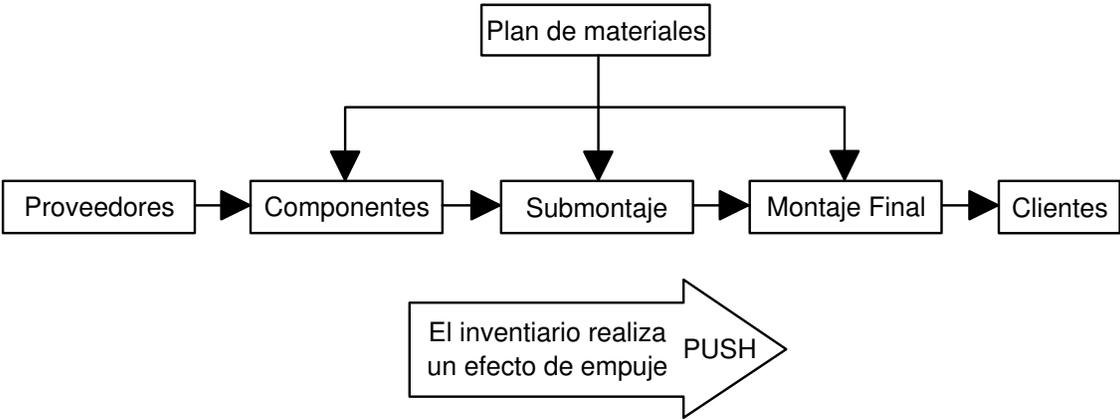


Figura 1.1: Esquema de Sistema de Producción PUSH

Ahora se empieza a empujar [5]. Cada operación en la cadena hace su propia parte y pasa el trabajo (empuja) a la siguiente operación dentro de determinado plazo. Esta operación sabe que le llegará el trabajo, hace su parte y pasa a la siguiente dentro del respectivo plazo. Se espera que todas esas cosas que se van empujando lleguen al mismo tiempo en determinada fecha, para que el

ensamble o el despacho se efectúen de acuerdo con el programa.

Una semana más tarde se vuelve al computador para ver hasta que punto todo esto se cumplió de acuerdo con las fechas programadas, qué cambios hubo y qué cosas habrá que reprogramar o planear de nuevo como resultado de lo que no sucedió a tiempo. Luego se genera papeleo para instaurar dichos cambios y el proceso comienza de nuevo.

En su viaje a Estados Unidos, los Japoneses se dieron cuenta que los supermercados funcionan en forma muy distinta a las fábricas. Descubrieron que allí, los clientes son los que determinan lo que va a suceder, que utilizan un sistema Pull (halar). El cliente es quien va halando el sistema al comunicarle al negocio una demanda específica. Los japoneses tomaron el concepto de los supermercados y lo convirtieron en algo que pudieran utilizar para controlar las operaciones en la fábrica. Crearon dos tipos de señales, o de Kanban. Suponiendo que el cliente en este caso es el departamento de ensamble, la primera señal constituiría una autorización - dinero por así decirlo- para que el departamento de ensamble acuda a su supermercado de materiales- subensamble, componentes, materias primas- y tome un recipiente de cada cosa que necesite. Estos recipientes son muy pequeños, con capacidad para una cantidad medida (generalmente la cantidad necesaria para una hora o menos). En la empresa Toyota, todo recipiente que entrega más de la décima parte de la cantidad necesaria para un día requiere aprobación de la gerencia.

Dentro de cada recipiente se encuentra el segundo tipo de Kanban: una autorización de producción. Al retirarse un recipiente del supermercado (y no antes), ésta autorización de producción retrocede a la operación proveedora. Trátese de otro departamento o de un proveedor, y le dice: esta señal es su autorización para producir otro recipiente de piezas. Ni más ni menos, tiene determinado plazo de hacerlo.

1.4 Sistema de Halar (PULL)

El sistema Pull es a menudo utilizado alternativamente con el flujo. Esto debería ser entendido que como el flujo, Pull es un concepto, y que estos dos están ligados, pero no son lo mismo. El flujo está definido como el estado del material y la manera en que es movido desde un proceso a otro. El Pull indica cuándo el material es movido y es el cliente quien determina que debe ser movido.

Muchas personas se confunden acerca de las diferencias entre el método Push y Pull. Estos son tres elementos principales que diferencian el sistema Pull del Push [6].

1. **Definido:** Un acuerdo definido con límites especificados tales como el volumen de productos, modelos mixtos, y la secuencia del modelo mixto entre las dos partes (fabricante y cliente)
2. **Dedicado:** Los artículos que son compartidos entre las dos partes deben ser dedicados a ellos. Esto incluye recursos, ubicación, almacén, containers y un tiempo de referencia en común (takt time)
3. **Controlado:** método de simple control, los cuales son evidencias físicas visuales, mantienen definidos los acuerdos

En un sistema Push no están definidos los acuerdos [7] entre el productor y el cliente en cuanto a la cantidad de trabajo que debe ser producida y cuándo. El surtidor trabaja a su propio paso y termina el trabajo según su propio horario. El material es entregado al cliente si el cliente lo requiere o no.

El sistema Pull es un conjunto de varios elementos que ayudan al proceso de halar [8]. Para llevar a la práctica un sistema de información tipo Pull, se necesita un sistema de señales que desencadene la producción entre dos estaciones de trabajo consecutivas. En los sistemas de producción JIT el sistema de señales más difundido es el Kanban, las señales Kanban es una de las herramientas usadas en el sistema Pull [9]. El Kanban es un método simple de comunicación el cual podría ser una tarjeta, un espacio vacío, un carro o algún otro método de señalización; ésta señal es incorporada a los containers de material para que el cliente diga “estoy listo para más”. El consumo de tales contenedores “libera” su tarjeta Kanban, que actúa como orden de reposición para el proceso precedente. Hay muchos elementos, incluyendo control visual y control estandarizado. Si los elementos están correctamente instalados, un “conector” es formado entre el productor y el cliente en el proceso. Los elementos dictan los parámetros de la conexión para halar, ver Figura 1.2.

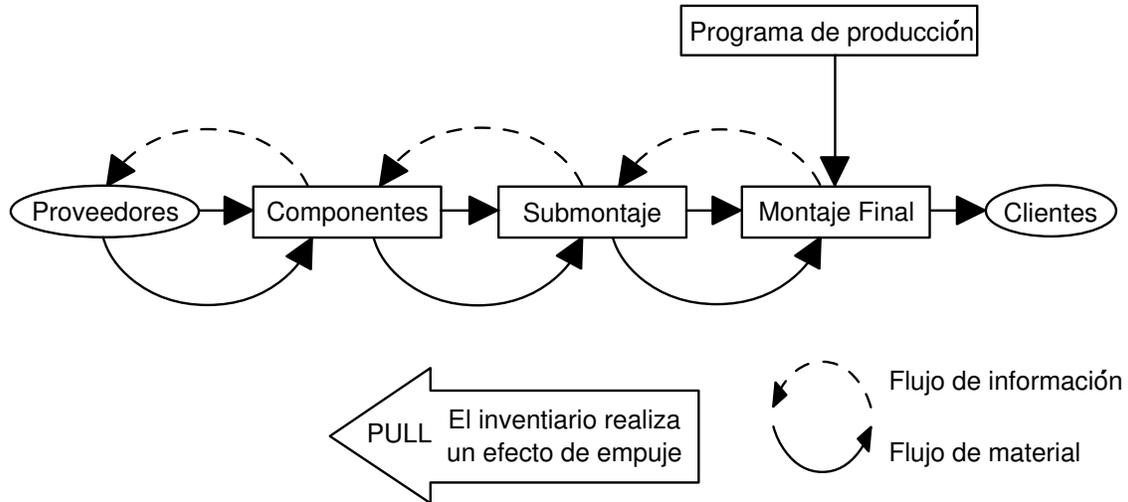


Figura 1.2: Esquema de Sistema de Producción PULL

1.5 El sistema Kanban - Pull Donde se Debe

Un verdadero sistema de flujo sería un sistema de inventario cero donde la mercancía sólo aparece cuando es necesitada por el cliente. El sistema más cercano posible al sistema Toyota se ha ideado para alcanzar éste sistema de flujo que construye la orden sólo en el momento que la producción lo necesita [10]. Pero cuando el flujo puro no es posible porque los procesos son lejanos o el tiempo de ciclo varía mucho en las operaciones, la siguiente mejor elección es el sistema Kanban.

Rother y Shook (1999), en un extenso libro acerca del sistema de producción total llamado “Learning to See”, dice, “Flujo donde tú puedas, Pull donde tú debes”. Si se quiere diseñar un sistema flexible (lean Production), se debería repetir esta frase al despertarse para comenzar cada día. Se puede ir lejos con este simple principio. Donde no sea posible crear un sistema de flujo, la siguiente mejor cosa es diseñar un sistema Pull con algo de inventario.

Considere un sistema Pull en una planta de ensamble Toyota. El control de producción crea una programación nivelada. Por ejemplo, ellos toman un Camry blanco, seguido por un Camry verde, seguido por un Avalon rojo y así sucesivamente. Cada uno de esos carros tiene un sistema entero de opciones asociadas con él. Esa programación es enviada al cuerpo del almacenamiento, donde los paneles de acero estampado (de un “supermercado” de paneles pre estampados) son soldadas dentro de un cuerpo. Estampar los paneles es un operación mucho más rápida que el tiempo takt en la planta de ensamble (e.g., un segundo por panel de estampado Vs 60 segundos de tiempo takt en

una planta, es típico), entonces ponerlos dentro de un flujo no es práctico. Ellos serían productivos fuera de cada 60 segundos, entonces el sistema Pull es usado. Cuando un cierto número de paneles de acero han sido usados por el cuerpo del almacén, un Kanban va de nuevo a una prensa de estampado, ordenándole hacer otro batch para reabastecer el almacén.

Similarmente, cuando la línea de ensamble empieza a trabajar usa partes de compartimientos (bisagras, manijas de puerta, limpiadores de parabrisas), toman hacia afuera una tarjeta Kanban y la ponen en un mailbox. Un encargado de material vendrá en una ruta sincronizada deberá tomarlo y regresar a la tienda de reabastecimiento que es usada en la línea de ensamble. Otro encargado de material reabastecerá el almacén basado en las partes de un supermercado de partes surtidas. En la Figura 1.3 se ilustra un sistema como éste, donde las partes en la planta de ensamble son reabastecidas desde el surtidor.

El proceso comienza en la sesión de ensamble (el lado derecho del sistema), entonces el retiro de Kanban y el container vacío son enviados al surtidor para ser abastecidos. El surtidor mantiene un pequeño almacén de partes terminadas en un “almacén de partes”, las cuales son usadas para rellenar el Kanban. Cuando las partes son retiradas del almacén, ellas deben ser reabastecidas enviando un Kanban y un container vacío de regreso a la celda de producción donde partes nuevas son fabricadas y después son enviadas al “almacén de partes”. La información, ordenes de pedidos de partes bajo la forma de Kanban, fluyen al revés, desde el cliente (planta de ensamble). Los materiales, en este caso partes, son utilizados de acuerdo a la necesidad del cliente.

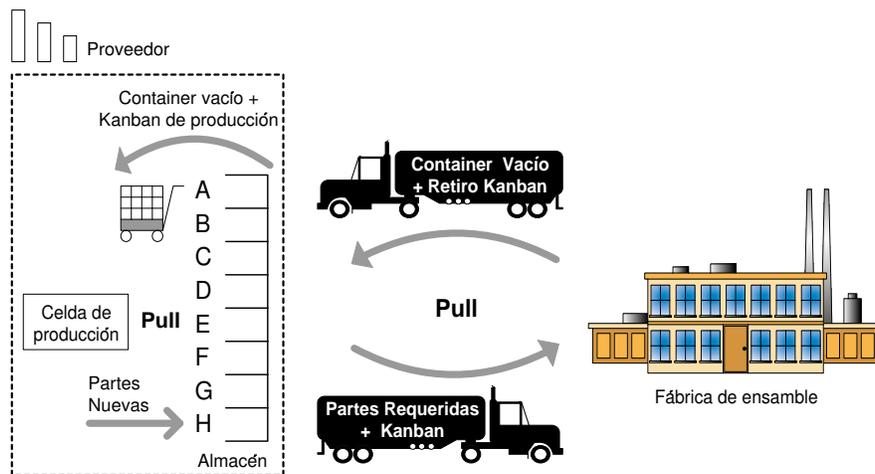


Figura 1.3: PULL Interno y Externo

Es fascinante ver este trabajo, con tantas partes y materiales con facilidad y ritmo. En una planta de ensamble grande, como una en Georgetown, Kentucky, hay miles de partes moviéndose. Junto a la línea de ensamble, hay pequeños compartimentos de partes y cada pequeño compartimento están siendo movidos por almacenes organizados cuidadosamente.

La idea de adaptar un sistema Pull es mejorar el manejo de abastecimiento variable (condiciones de la demanda). Muchos textos se han enfocado a la adaptación de los cambios ambientales variando el número de tarjetas Kanban activadas en cada etapa [2]. Rees, Philipoom, Taylor y Huang (1987) adjuntan el número de tarjetas Kanban para mantener correctamente las condiciones ambientales junto con una estadística de estimación del tiempo de abastecimiento (lead Time) y el pronóstico de la demanda. Chang y Yih (1994) manejan la demanda y los tiempos variables de proceso con un sistema Kanban especial. Su sistema proviene de números fijos de Kanban en cada etapa. Pero, las tarjetas pueden ser adquiridas por cualquier tipo de productos en el sistema. Su objetivo está en la combinación de tiempos de espera versus el nivel de *Trabajo en Proceso (WIP)* de acuerdo a diferentes productos .

La siguiente sección introduce un concepto del sistema Kanban basado fundamentalmente en el sistema pull.

1.6 Definición

Kanban se define como “Un sistema de producción altamente efectivo y eficiente”. Kanban significa en japonés: “etiqueta de instrucción”. Su principal función es ser una orden de trabajo, es decir, un dispositivo de dirección automático que nos da información acerca de qué se va ha producir, en qué cantidad, mediante qué medios y cómo transportarlo.

Esta técnica sirve para cumplir los requerimientos de material en un patrón basado en las necesidades de producto terminado o embarques, que son los generadores de la tarjeta de Kanban y que se envían directamente a las máquinas suministradoras para que procesen solamente la cantidad requerida.

A cada pieza le corresponde un contenedor vacío y una tarjeta en la que se especifica la referencia

(máquina, descripción de piezas entre otras) así como la cantidades de piezas que ha de esperar cada contenedor para ser llenado antes de ser trasladado a otra estación de trabajo.

Como regla, todos y cada uno de los procesos deben ir acompañados de una tarjeta Kanban.

El sistema Kanban funciona bajo ciertos principios:

- Eliminación de desperdicios.
- Mejora continua.
- Participación plena del personal.
- Flexibilidad de la mano de obra.
- Organización y visibilidad.

Kanban cuenta con dos funciones principales: control de la producción y mejora de procesos. Por control de la producción se entiende la integración de los diferentes procesos y el desarrollo de un sistema JIT (Just in Time). La función de mejora continua de los procesos se entiende por la facilitación de mejora en las diferentes actividades, así como la eliminación del desperdicio, reducción de set-up (tiempos de preparación, alistamiento), organización del área de trabajo, mantenimiento preventivo y productivo, etc.

El set-up (alistamiento) es efectivamente una técnica enfocada al cambio rápido de maquinaria y herramientas productivas sin pérdida de tiempo. El set-up se enmarca en un conjunto de operaciones que se desarrollan desde que se detiene la máquina para proceder al cambio hasta que la máquina empieza a fabricar la primera unidad del siguiente producto en las condiciones normativas de tiempo y calidad. El intervalo de tiempo correspondiente es el tiempo de cambio.

El Kanban se enfoca hacia:

La producción

- Poder empezar cualquier operación estándar en cualquier momento.

- Dar instrucciones basados en las condiciones actuales del área de trabajo.
- Prevenir que se agregue trabajo innecesario a aquellas órdenes ya empezadas y prevenir el exceso de papeleo innecesario.

Movimiento de materiales

- Eliminación de sobreproducción.
- Prioridad en la producción, el Kanban con más importancia se pone primero que los demás.
- Se facilita el control de material.

Los objetivos principales del Kanban son:

- Minimizar el tiempo de entrega
- Identificar y reducir cuellos de botella
- Facilitar el flujo constante de materiales
- Desarrollo de un Sistema Just In Time (JIT)

1.7 El sistema Kanban

El sistema Kanban fue analizado por varios investigadores Kimura y Terada (1981) y Takahashi (1994) construyendo modelos del sistema Kanban, analizando y comparando su funcionamiento con el sistema Push. Sin embargo su modelo sólo aplica a un sistema de producción en serie. El modelo del sistema Kanban es construido por una configuración en cadena más completo.

En el sistema JIT el pronóstico de la demanda es utilizado para liberar el lanzamiento de ordenes. En el sistema Kanban [11] la cantidad ordenada para cada proceso es determinada sobre la base de la cantidad consumida en la estación de inventario (buffer) de ese proceso. Los Productos y subensambles y las partes son procesadas en respuesta a la orden, y los subensambles o partes necesarias para ese proceso, son así consumidas. Las cantidades consumidas actúan como una

alarma para ordenar la producción de más artículos en la etapa y las ordenes son transferidas de proceso a proceso en la dirección hacia arriba de la cadena del proceso.

En la Figura 1.4 se muestra un esquema del diagrama del sistema Kanban y la forma en que funciona la cadena del sistema.

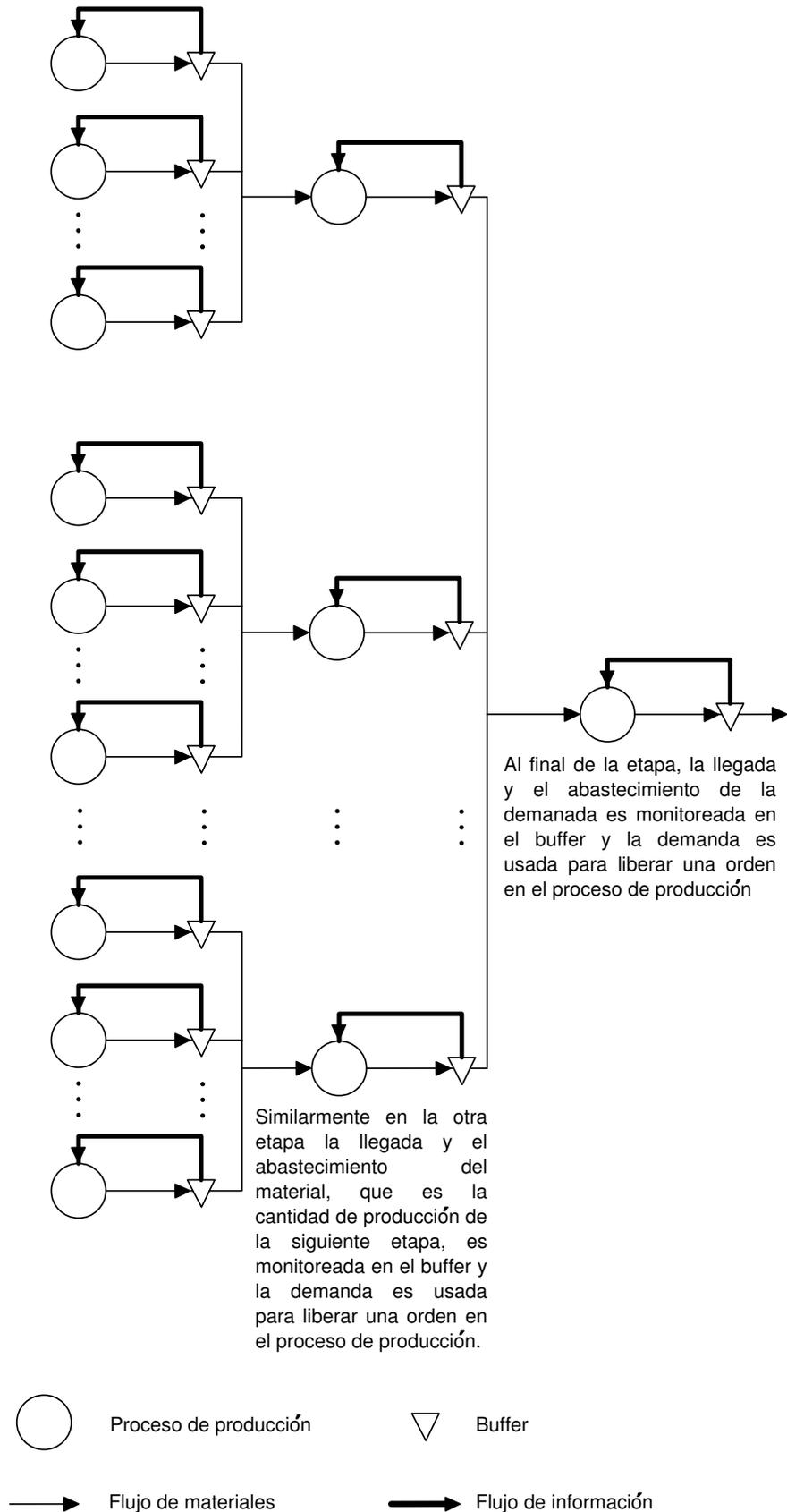


Figura 1.4: Esquema del Sistema Kanban

2. FUNCIONES DEL KANBAN

Kanban funciona en combinación con otros elementos de JIT, tales como calendarización de producción mediante etiquetas, buena organización del trabajo y del flujo de producción.

La tarjeta Kanban contiene información que sirve como orden de trabajo, ésta es su función principal, en otras palabras, es un dispositivo de dirección automático que da información acerca de que se va a producir, en qué cantidad, mediante qué medios y cómo transportarlo.

Básicamente Kanban sirve para lo siguiente:

- Poder empezar cualquier operación estándar en cualquier momento
- Dar instrucciones basados en las condiciones actuales del área de trabajo
- Prevenir que se agregue trabajo innecesario a aquellas órdenes ya empezadas y prevenir el exceso de papeleo innecesario.

Otra función del Kanban es la de movimiento de material, la tarjeta Kanban se debe mover junto con el material, si ésto se lleva a cabo correctamente se logrará lo siguiente:

- Eliminación de la sobreproducción
- Prioridad en la producción, el kanban con más importancia se pone primero que los demás
- Se facilita el control de material

Las funciones principales del Kanban son control de la producción y mejora de procesos.

2.1 Control de la Producción

Por control de la producción se entiende la integración de los diferentes procesos y el desarrollo de un sistema JIT en la cual los materiales llegan en el tiempo y cantidad requerida en las diferentes etapas de la producción y si es posible incluyendo a los proveedores.

Los productores Japoneses tienden a estar menos integrados verticalmente, dejando muchas actividades a sus proveedores, y a mantener un número pequeño de ellos. Esto es posible gracias a las relaciones duraderas y de cooperación que son mantenidas.

En el ámbito operativo, pequeñas y frecuentes entregas son la clave del sistema, y pueden ser realizadas sin costo adicional debido a las relaciones de cooperación y el uso de proveedores próximos a la planta.

La proximidad geográfica, por lo tanto, parece ser un elemento muy importante, mejora el control, la comunicación, el costo, la puntualidad de las transacciones y permite mantener inventarios de entrada mínimos.

Las exigencias en términos de calidad y puntualidad pasan a primer plano y constituyen un elemento esencial tanto para la selección de proveedores como para la prolongación de relaciones.

Otros productores JIT son excelentes proveedores pues se integran fácilmente dentro del sistema Kanban, constituyéndose, en cierto modo, como un proceso más de la empresa matriz, siendo ésta una cuestión clave para explicar la mejor eficiencia de los productores Japoneses.

Finalmente, es importante mencionar que las mayores compañías pueden permitirse ofrecer programas de formación a sus proveedores para integrar a estos dentro de su dinámica.

2.2 Mejora de los Procesos

Por la función de mejora de los procesos se entiende la facilidad de mejora en las diferentes actividades de la empresa mediante el uso de Kanban, dado que la producción ajustada es un sistema que se encuentra en una situación de permanente evolución se requiere una mejora continua en los procesos. Por producción ajustada se entiende orientar la logística a los requerimientos del cliente y sus características son: integración de la calidad, flexibilidad y adaptabilidad, optimización de recursos JIT, incorporación de la creatividad de los trabajadores a la mejora continua del trabajo, forma de trabajo más dinámica (frecuentemente en grupos). Esto se hace mediante técnicas de ingeniería dando los siguientes resultados:

2.2.1 Eliminación de desperdicios

El desperdicio fue definido por Toyota, bajo el enfoque Japonés [12], como “Cualquier elemento que exceda el mínimo de equipo, materiales, partes y trabajadores que son absolutamente necesarios para la producción”.

Se han identificados 7 tipos de desperdicios [13] que deben ser eliminados.

- Sobreproducción, hacer solo lo que se necesita
- Tiempo de espera debido a flujo entre operaciones y líneas mal balanceadas
- Transportación, por mal diseño de estaciones de trabajo o secciones de planta de producción. Se debe eliminar el manejo de materiales y el embarque
- Inventario [14]. Principalmente de producto en proceso
- Movimientos y esfuerzos. Movimientos humanos (Ergonomía)
- Defectos. Eliminar defectos e inspecciones, hacer productos perfectos
- Proceso de producción, pasos innecesarios en el proceso.

De la misma manera se han identificado 7 elementos para eliminar los desperdicios.

- Enfoque a redes de manufactura: se trata de construir pequeñas plantas especializadas y no grandes plantas genéricas. Esto facilita la operación y la administración
- Grupos tecnológicos: La filosofía es agrupar partes similares en familias y los procesos requeridos para fabricar estas partes son arregladas en células o celdas especializadas de manufactura. Este esquema es diferente al de las líneas tradicionales de manufactura
- Calidad en la fuente: Este concepto trata de disminuir la inspección. Significa hacer las cosas bien a la primera vez y si hay problemas se detiene la producción
- Producción JIT: Significa producir lo que es necesario, cuando es necesario y no más. Cualquier extra es visto como desperdicio
- Carga de planta uniforme: Se refiere a la programación de la producción, la cual debe tener la menor cantidad de variaciones
- Sistemas de control de producción Kanban
- Reducción de tiempos de cambio de diseño.

2.2.2 Organización del Area de Trabajo

La organización del área de trabajo debe contar con todo el personal de la empresa, involucrando acciones como una correcta planeación, procedimientos, recursos, personal o flujo de trabajo entre áreas, redireccionamiento de funciones, entre otros.

2.2.3 Reducción del Set-up (Alistamiento)

El tiempo de set-up es la cantidad de tiempo necesario en cambiar un dispositivo de un equipo y preparar ese equipo para producir un modelo diferente; para producirlo con la calidad requerida por el cliente y sin incurrir en costos para la compañía y lograr con esto, reducir el tiempo de producción en todo el proceso.

2.2.4 Utilización de Maquinaria versus. Utilización con Base en la Demanda

La utilización de las máquinas se hace de acuerdo a la demanda y no al tiempo de disponibilidad de las mismas.

2.2.5 Manejo de Múltiples Procesos

En lugar de manejar un único proceso en un determinado momento se puede hacer uso de múltiples procesos concurrentes en la producción, esto permite compartir alguna máquina por ejemplo.

2.2.6 Dispositivos para la Prevención de Errores (POKA-YOKE)

Consiste en cualquier mecanismo que ayude a prevenir los errores antes de que sucedan, o los hace que sean muy obvios para que el trabajador lo note y lo corrija a tiempo. La finalidad del Poka Yoke es eliminar los defectos en un producto ya sea previniendo o corrigiendo los errores que se presenten lo antes posible. Los sistemas Poka Yoke implican el llevar a cabo el 100 % de inspección, así como retroalimentación y acción inmediata cuando los defectos o errores ocurren. Este enfoque resuelve los problemas de la vieja creencia que el 100 % de la inspección toma mucho tiempo y trabajo, por lo que tiene un costo muy alto. Un sistema Poka Yoke posee dos funciones: una es la de hacer la inspección del 100 % de las partes producidas, y la segunda es si ocurren anomalías puede dar retroalimentación y acción correctiva. Los efectos del método Poka Yoke en reducir defectos va a depender en el tipo de inspección que se este llevando a cabo, ya sea: en el inicio de la línea, auto-chequeo, o chequeo continuo.

2.2.7 Mantenimiento Preventivo

Se logra establecer un programa organizado de revisiones de maquinaria y equipos apoyándose en las experiencias históricas de estas, se realizan las acciones necesarias con el ánimo de reducir costos en mantenimiento correctivo; lo cual permite reducir también los costos de producción y aumentar la disponibilidad, además; contribuye a un correcto sistema de calidad y a la mejora continua.

2.2.8 Mantenimiento Productivo Total

Creando un sistema corporativo que maximiza la eficiencia de toda la producción, estableciendo un mecanismo que previene las pérdidas en todas las operaciones; esto incluye cero accidentes, cero defectos y cero fallas en todo el ciclo de vida del sistema productivo, aplicándose a todas las áreas de la empresa y apoyándose en la participación de todos los integrantes de ésta.

2.2.9 Reducción de los Niveles de Inventario

Este concepto analiza los inventarios en proceso los cuales deben ser reducidos o en su caso eliminados. Un inventario en proceso es sinónimo de un error administrativo, un producto que espera o un cliente que hace fila dentro del sistema, refleja falta de equilibrio o de sincronización en las operaciones.

Por qué se presentan los inventarios? Los problemas más comunes que se presentan de menor a mayor costo [15] son:

- Tiempos de preparación muy largos
- Lotes de producción muy grandes
- Problemas de calidad
- Lista de materiales con muchos niveles
- Descompostura de maquinaria
- Mala calidad de los proveedores
- Tiempo de ciclo muy largo
- Demasiado desperdicio y retardo
- Ausentismo de personal
- Distribución de planta ineficiente.

El mal nivel de inventario se puede mejorar de la siguiente forma.

- Contar con alta calidad
- Entrega a tiempo
- Equipos siempre en buenas condiciones
- Lotes de producción pequeños
- Buenos tiempos de preparación

3. REGLAS DEL KANBAN

El Kanban como un sistema de mejoramiento de la productividad.

En la actualidad, la necesidad de producir eficientemente sin causar trastornos ni retrasos en la entrega de un producto determinado es un factor de suma importancia para las empresas que desean permanecer activas en un mercado como el actual, que exige respuestas rápidas y cumplimientos en calidad, cantidad y tiempos de entrega.

Por lo tanto, la implementación de sistemas de producción más eficientes han llegado a ser un factor que se debe marcar como primordial en las plantas productivas.

La implementación de sistemas de producción que logren en la actualidad cumplir con las demandas del mercado, no implican necesariamente tener que hacer grandes inversiones en sistemas costosos de automatización, o en grandes movilizaciones y rediseños de *layout (Distribución de Planta)*, y líneas de producción. En realidad, con un análisis adecuado de las situaciones y los elementos con los que se cuenta, se puede lograr desarrollar algún sistema efectivo que cumpla con las necesidades y que no sea causa de una inversión mayor.

Los resultados mostrados por el sistema Kanban, cuando se implementó en estados ambientales seguros, se desempeñaron desde luego excepcionalmente. Sin embargo, los sistemas más tradicionales usados en los Estados Unidos también muestran este buen desempeño. Al contrario, hay otros ambientes de planta en que los sistemas no se desempeñan tan bien. Esto sugiere que los factores en si mismos son la clave para un mejoramiento estructural. Simultáneamente se reducen los tiempos de Set-up y los tamaños de lote se encuentran como la única manera efectiva de cortar los niveles de inventario y mejorar el servicio al cliente.

REGLA 1: NO SE DEBE MANDAR PRODUCTOS DEFECTUOSOS EN LOS PROCESOS SUBSECUENTES.

La producción de productos defectuosos implica costo tales como la inversión en materiales, equipo, mano de obra y costos indirectos de fabricación que no va a ser vendido. Este es el mayor desperdicio de todos. Si se encuentra un defecto, se deben tomar medidas antes que todo, para prevenir que éste no vuelva a ocurrir. En este punto es menester hablar de la *Automatización (Máquinas con inteligencia humana)* o JIDOKA, cuyo significado en Japonés es control de defectos autónomos.

La Automatización nunca permite que las unidades con defectos de un proceso fluya al siguiente proceso, deben existir dispositivos que automáticamente detengan las máquinas y no se produzcan más defectos. Lo peor no es parar los procesos, lo peor es producir artículos con defectos.

Observaciones para la primera regla:

- El proceso que ha producido un producto defectuoso, lo puede descubrir inmediatamente
- El problema descubierto se debe divulgar a todo el personal implicado, no se debe permitir la recurrencia

REGLA 2: LOS PROCESOS SUBSECUENTES TENDRÁN SOLO LO QUE NECESITAN.

Esto significa que el proceso subsecuente pedirá el material que necesita al proceso anterior, en la cantidad necesaria y en el momento adecuado. Se crea una pérdida si el proceso anterior sufre de partes y materiales al proceso subsecuente en el momento que éste no los necesita o en una cantidad mayor a la que se necesita. La pérdida puede ser muy variada, incluyendo pérdida por el exceso de tiempo extra, pérdida en el exceso de inventario, y la pérdida en la inversión de nuevas plantas sin saber que la existente cuenta con la capacidad suficiente. La peor pérdida ocurre cuando los procesos no pueden producir lo que es necesario y cuando están produciendo lo que es innecesario.

Para eliminar este tipo de errores se usa esta segunda regla. Si suponemos que el proceso anterior no va a suplir con productos defectuosos al proceso subsecuente, y que este proceso va a tener la capacidad para encontrar sus propios errores, entonces no hay necesidad de obtener esta

información de otras fuentes, el proceso puede suplir buenos materiales. Sin embargo el proceso no tendrá la capacidad para determinar la cantidad necesaria y el momento adecuado en el que los procesos subsecuentes necesitarán de material, entonces ésta información tendrá que ser obtenida de otra fuente. De tal manera que se cambiará la forma de pensar en la que “se suplirá a los procesos subsecuentes” a “los procesos subsecuente pedirán a los procesos anteriores la cantidad necesaria en el momento adecuado”.

Este mecanismo deberá ser utilizado desde el último proceso hasta el inicial. Existen una serie de pasos que aseguran que los procesos subsecuentes no halarán o requerirán arbitrariamente del proceso anterior, ellos son:

- No se debe requerir material sin una tarjeta Kanban
- Los artículos que sean requeridos no deben exceder el número de Kanban admitidos
- Una etiqueta de Kanban debe acompañar siempre a cada artículo

REGLA 3: PRODUCIR SOLAMENTE LA CANTIDAD EXACTA REQUERIDA POR EL PROCESO SUBSECUENTE.

Esta regla fue hecha con la condición de que el mismo proceso debe restringir su inventario al mínimo, para esto se deben tomar en cuenta las siguientes observaciones:

- No producir más que el número de Kanbans
- Producir en la secuencia en la que los Kanbans son recibidos

REGLA 4: BALANCEAR LA PRODUCCIÓN.

De manera en que podamos producir solamente la cantidad necesaria requerida por los procesos subsecuentes, se hace necesario para todos los procesos mantener al equipo y a los trabajadores de tal manera que puedan producir materiales en el momento necesario y en la cantidad necesaria. En

este caso si el proceso subsecuente pide material de una manera variable con respecto al tiempo y a la cantidad, el proceso anterior requerirá personal y máquinas en exceso para satisfacer esa necesidad. En este punto hace énfasis la cuarta regla, la producción debe estar balanceada o suavizada.

Es aquí cuando es más fácil apreciar los componentes básicos del sistema Kanban, que son los siguientes:

- Equilibrio, sincronización y flujo
- Calidad: “Hacerlo bien la primera vez”
- Participación de los empleados

REGLA 5: KANBAN ES UN MEDIO PARA EVITAR ESPECULACIONES.

El Kanban para los trabajadores, se convierte en su fuente de información para producción y transportación. Los trabajadores dependerán de Kanban para llevar a cabo su trabajo y el balance del sistema de producción se vuelve importante.

No se vale especular sobre si el proceso subsecuente va a necesitar más material la siguiente vez, tampoco, el proceso subsecuente puede preguntarle al proceso anterior si podría empezar el siguiente lote un poco más temprano, ninguno de los dos puede mandar información al otro, solamente la que esta contenida en las tarjetas Kanban. Es muy importante que esté bien balanceada la producción.

Los beneficios de la producción balanceada.

- Reducción en tiempo de producción
- Aumento de productividad
- Reducción en costo de calidad

- Reducción en precios de material comprado
- Reducción de inventarios
- Reducción del tiempo de alistamiento

REGLA 6: ESTABILIZAR Y RACIONALIZAR LOS PROCESOS.

Los productos defectuosos existen si el trabajo no está estandarizado y racionalizado, si esto no es tomado en cuenta seguirán existiendo partes defectuosas. Estas partes defectuosas pueden ser definidas como desperdicios, es decir, todo lo que sea distinto a los recursos mínimos absolutos de materiales, máquinas, y mano de obra necesarios para agregar valor al producto. Hay que recordar que el Kanban es definido como una Filosofía Industrial de eliminación de todo lo que implique desperdicio en el proceso de producción, desde las compras hasta la distribución.

4. TIPOS DE KANBAN

4.1 Kanban de Producción

La función primaria de la producción Kanban es lanzar una orden a la etapa precedente para construir el tamaño de la porción indicado en la tarjeta. Indica el tipo y la cantidad a fabricar por el proceso anterior. Es utilizado en líneas de ensamble y otras áreas donde el tiempo de set-up es cercano a cero. Para su aplicación y líneas de producción, la tarjeta debería estar puesta delante la primera pieza de trabajo.

La tarjeta de Kanban de la producción debe tener la información siguiente:

Materiales requeridos como entradas en la etapa precedente, piezas requeridas como entradas en la etapa precedente, información indicada en los retiros Kanban.

Los primeros dos pedazos de información no se requieren en el retiro Kanban, como se utiliza solamente para comunicar la autorización del movimiento de partes entre las estaciones de trabajo.

El Kanban de producción puede ser utilizado acumulando las tarjetas en una caja, de manera que pueda comenzar la producción cuando se haya recolectado una cierta cantidad de tarjetas.

4.2 Kanban de Señal

Este tipo de Kanban es conveniente para controlar los niveles máximos y mínimos de partes o materiales de producción solo con una tarjeta.

Es una especie de señal para especificar el lote de fabricación. Este Kanban acompaña a la caja que

contiene el lote. Cuando los pedidos retirados llegan a la posición señalada por el Kanban (como el punto de reorden), habrá que poner en marcha la orden de producción en el proceso anterior.

4.3 Kanban de Transporte Entre Procesos

La función principal de un retiro Kanban es pasar la autorización para el movimiento de partes a partir de una etapa a otra. Especifica el tipo y la cantidad de producto a retirar por el proceso posterior.

El retiro Kanban viaja de nuevo al proceso precedente para conseguir las piezas que crean así el ciclo.

Un retiro Kanban lleva generalmente la información siguiente:

Número de pieza, nombre de la pieza, tamaño de la porción, proceso de encaminamiento, nombre del proceso siguiente, localización del siguiente proceso, nombre y localización del proceso precedente, tipo de container y su capacidad.

La disposición de Kanban del retiro puede ser diseñada de muchas maneras para exhibir esta información.

Esta tarjeta debe ser utilizada para retirar de la estación de trabajo anterior los elementos necesarios para fabricar los productos en el proceso posterior.

4.4 Kanban de Proveedores

Es utilizado para realizar pedidos a un proveedor y contiene instrucciones para entregar las piezas o materiales.

5. IMPLEMENTACIÓN DEL KANBAN

5.1 Cuándo se Necesita un Sistema Kanban

En el mundo real hay muchas áreas en las cuales es imposible resolver todos los problemas y llegar a la producción absoluta de un artículo cada vez. En todos los casos las empresas se ven obligadas a seguir produciendo o mover lotes y la señal Kanban es empleada como herramienta útil. Algunas circunstancias que hacen necesarias las señales Kanban son las siguientes.

1. Cuando el ensamble final se efectúa en una edificación y el subensamble en la otra. Desde el punto de vista físico, no resulta práctico transportar productos uno cada vez a esas distancias
2. Cuando una operación alimentadora gasta mucho más tiempo en alistar sus máquinas; no es posible lograr el flujo de un artículo cada vez, cuando hay grandes discrepancias en el tiempo necesario para modificar las máquinas. La operación que alimenta debe ser más veloz que el departamento usuario a fin de adelantarse y acumular el tiempo necesario para sus cambios
3. cuando una empresa desea montar varias celdas de trabajo pero tiene una sola máquina disponible para cierta operación incluida en cada celda de trabajo. Dicha máquina deberá situarse a un lado y enlazarse con las celdas de trabajo por medio de señales Kanban para que las distintas celdas de trabajo pueda indicarle qué debe fabricar y cuándo. Con este método, la máquina parece ser parte integral de cada celda de trabajo, pues envía con frecuencia pequeños lotes a cada uno de ellos
4. cuando una empresa no se atreve a poner una máquina con dificultades en una celda de trabajo debido a problemas de mantenimiento crónico que paralizarán toda la celda. Mientras no se haya resuelto el problema de mantenimiento, la máquina deberá andar sólo a su propio ritmo y enlazarse con las demás operaciones por medio de señales Kanban
5. cuando existen problemas de calidad, cuellos de botella o problemas de capacidad que obstaculicen el flujo ágil de las operaciones.

5.2 Pasos Previos al Kanban

Es importante que el personal encargado de producción, control de producción y compras, comprendan cómo un sistema Kanban, va a facilitar su trabajo y mejorar su eficiencia mediante la reducción de la supervisión directa.

Básicamente los sistemas Kanban, pueden aplicarse a fábricas que impliquen producción repetitiva.

Antes de implementar Kanban, es necesario desarrollar una producción nivelada “labeled/mixed producción schedule” [16] para suavizar el flujo actual del material, esta deberá ser practicada en la línea de ensamble final, si existe una fluctuación muy grande en la integración de los Kanban no funcionará y de lo contrario se creará un desorden. También tendrá que ser implementados sistemas de reducción de set-up, de producción de lotes pequeños, JIDOKA, control visual, POKA-YOKE, mantenimiento preventivo etc. Todos estos son requisitos previos a la introducción del Kanban. Antes de implementar el Kanban se deberá tener en cuenta las siguientes consideraciones.

1. Desarrollar un sistema de programación de producción mixta (producir diferentes modelos de productos en una misma línea de producción) y no fabricar grandes cantidades de un solo modelo. Se facilita una disminución del tamaño del lote si el número de los modelos de productos aumentan
2. Mantener constante la velocidad de proceso de cada pieza
3. El uso de Kanban esta ligado a la producción de lotes pequeños
4. Minimizar los tiempos de transporte entre los procesos
5. La existencia de contenedores y otros elementos en la línea de producción, tanto al principio como al final de un proceso, que servirán para almacenar las piezas y transportarlas desde el final de un proceso hasta el principio de otro y viceversa
6. Establecer una ruta de Kanban que refleje el flujo de materiales, es decir, designar lugares para que no haya confusión en el manejo de materiales. Esta confusión debe hacerse obvia cuando el material está fuera de su lugar
7. Tener buena comunicación, desde el departamento de ventas hasta producción, especialmente para aquellos artículos cíclicos a temporada que requieren mucha producción, de modo que se avise con bastante anticipo

8. Comprender, tanto el personal encargado de producción, control de producción como el de compras; cómo este sistema va a facilitar su trabajo y mejorar su eficiencia mediante la reducción de una supervisión directa
9. El sistema Kanban deberá ser actualizado y mejorado constantemente

5.3 En que tipos de trabajo se puede aplicar el Kanban?

Los sistemas Kanban pueden aplicarse solamente en fábricas que impliquen producción en serie o repetitiva. Deben cumplir con las siguientes características [4].

- Nivelado de las variaciones de la producción
- Tiempo de set-up mínimo
- La disposición de las máquinas debe ajustarse al flujo nivelado de la producción
- Trabajadores polivalentes (con capacidad de laborar en varios puestos) que trabajen en líneas de múltiples procesos
- Rutas estándares de operaciones para producir una unidad de producto en un ciclo de tiempo
- Autocontrol: sistema de control autónomo de defectos.

5.4 Fases del Kanban

FASE 1: ENTRENAMIENTO DEL PERSONAL

Es necesario entrenar a todo el personal en los principios de Kanban, y los beneficios de usarlo. Las características de este Sistema de Producción requieren de trabajadores multifuncionales con capacidades para trabajar en equipo y fuertemente identificados con la empresa de tal forma que colaboren para su mejora. La reducción de inventario al mínimo supone trabajar bajo una mayor presión, con tiempos más ajustados y con mayor perfección.

En la selección de trabajadores (generalmente Jefes de operaciones, Gestión de pedidos, Personal de Mantenimiento, es decir, primero los que no son de la fábrica en sí) cobra principal importancia la capacidad de estos para integrarse en la dinámica más que la formación, que en muchos casos

es proporcionada por la propia empresa. El número de categorías laborales en las empresas orientales es considerablemente menor, y las diferencias salariales son menos importantes que en empresas occidentales, estando basadas más en la antigüedad que en la formación o la categoría del trabajador. Cada gran empresa posee un propio sindicato, lo que facilita los acuerdos con los trabajadores. La comunicación vertical es más sencilla puesto que en los organigramas existen menos niveles y los propios directivos están más acostumbrados a pisar las plantas de trabajo.

Finalmente, es destacable la rotación de ingenieros, directivos y personal clave por diferentes departamentos o plantas con el fin de intercambiar mejoras y fomentar la polivalencia de los empleados.

FASE 2: IDENTIFICACIÓN E IMPLEMENTACIÓN EN COMPONENTES PROBLEMAS.

Las plantas Japonesas establecidas en occidente han sido vistas como los embajadores de la producción JIT que han probado la adaptabilidad del sistema a occidente. Los éxitos de plantas tales como Nummi en los Estados Unidos, establecida conjuntamente por Toyota y General Motors pero fundamentalmente bajo control Japonés, son utilizados como ejemplos en contra de aquellos que tengan la existencia de fuertes barreras culturales a la implementación de JIT fuera de Japón. Aunque es claro que los sistemas JIT implantados por empresas Japonesas en occidente han tendido importantes resultados, en general, éstas no han alcanzado los mismos niveles que sus filiales en Japón. A pesar de éxitos como el de Nummi, parecen existir barreras que impiden igualar el nivel de implantación y los resultados obtenidos en Japón. Es más, la apertura de Nummi, por ejemplo, parece haber estado rodeada de circunstancias especiales que podrían haber generado un entorno óptimo para la adaptación de JIT. La especial atención por parte del sector automovilístico e instituciones hacia esta experiencia piloto, la existencia de una mano de obra calificada por previas experiencias con General Motors o la crisis en la industria automovilística americana en los 80, son características que podrían haber fomentado una atmósfera de cooperación de todas las partes implicadas. De hecho, una vez pasado el inicial protagonismo, se comentó de algunos problemas laborales surgidos en la planta. Aunque especial atención ha sido puesta en el sector automovilístico y en la experiencia americana, la presencia Japonesa en el exterior cubre otras muchas industrias y se extiende por todo el mundo.

Es difícil encontrar en la literatura ejemplos de plantas funcionando igual que en Japón. Dado que se cuenta con la experiencia de directivos formados en plantas similares de este país, parece no haber problema en cuanto a la implantación de técnicas productivas. Las principales diferencias se

encuentran en el área de recursos humanos y relaciones con proveedores.

De esto se concluye, que lo más adecuado en la Implementación de Kanban es empezar por aquellas zonas con más problemas, para facilitar su manufactura y para resaltar los problemas escondidos. El entrenamiento con el personal continúa en la Línea de Producción.

FASE 3: IMPLEMENTAR KANBAN EN LOS DEMÁS COMPONENTES (resto)

Se considera que las diferencias en la gestión de recursos humanos entre plantas japonesas dentro y fuera de Japón dependen fundamentalmente de dos factores: el tamaño de la compañía y el tipo de trabajador. Las empresas pequeñas suelen adaptarse a los modelos laborales locales mientras que las grandes introducen prácticas de bajo costo, tales como trabajo en equipo, empleados polivalentes o formación interna, mientras que reservan aquellas de alto costo, como la seguridad laboral o el empleo para toda la vida, para sus plantas en Japón y sus empleados Japoneses destinados en el exterior.

Las diferencias sectoriales han sido también subrayadas en algunos trabajos. Por ejemplo, se destaca que, mientras en la industria del automóvil se ha intentado adaptar en mayor o menor medida prácticas Japonesas, el sector de componentes y productos electrónicos se ha limitado a aceptar las prácticas laborales locales.

Una de las principales barreras encontradas no es precisamente la actitud de los trabajadores de planta, sino la mentalidad, formación y costumbres de los directivos contratados localmente.

Es por esto, que las grandes empresas están optando por contratar recién graduados y formarlos temporalmente en Japón, o por promocionar a trabajadores de planta. La negociación con los sindicatos es un paso fundamental para la introducción de nuevas prácticas laborales y es, en muchas ocasiones, la principal barrera.

Muchas plantas Japonesas han intentado evitar la presencia de sindicatos eligiendo aquellas localizaciones donde esto era posible y otras, normalmente de gran tamaño, han logrado establecer acuerdos.

Los principales problemas tienen lugar en los países más desarrollados, donde los sindicatos

han adquirido mayor poder e importancia. En países en vías de industrialización es frecuente la concesión de derechos y privilegios a plantas Japonesas que les permiten evitar presencia sindical.

Desde una perspectiva más sociológica, la mentalidad de los trabajadores japoneses y la particular cultura Japonesa “*wa*” (*armonía*) basada en la cooperación, trabajo en equipo y respeto a la antigüedad, ha sido considerada por algunos autores un factor fundamental para el éxito de JIT.

Según ellos, no sólo basta con una transformación en la organización, sino que también es necesario un cambio cultural importante.

La existencia de este tipo de cultura permite que se tomen en cuenta todas las opiniones de todos los operadores; ya que ellos son los que mejor conocen el sistema. Es importante informarles cuándo se va a estar trabajando en su área.

FASE 4: REVISION DEL SISTEMA KANBAN

Además de los niveles de inventario y los tiempos de pedido entre un proceso y otro. Es importante tomar en cuenta las siguientes recomendaciones para el funcionamiento correcto de Kanban:

- Ningún trabajo debe ser hecho fuera de secuencia
- Si se encuentra algún problema, notificar al supervisor inmediatamente

6. COMO CIRCULA EL KANBAN

6.1 Flujo de las Cadenas de Producción Kanban-Controladas

Considere una producción que consiste en varias máquinas o estaciones de trabajo. La materia prima llega y es procesada en varias etapas, una después de la otra. El trabajo es conducido por la disponibilidad de partes. Un trabajo empieza, si la máquina está disponible y si tiene capacidad para la llegada de las partes requeridas, cuando un trabajo es completado en una etapa, éste es ubicado en un buffer y hace fila en la siguiente etapa. Este procedimiento da lugar a un cadena y a un sistema Push. La llegada de un trabajo es determinado por los requerimientos de la siguiente etapa. Por ejemplo, cuando un trabajador en la línea de producción comienza a introducir un nuevo casillero de partes, él remueve la etiqueta (Kanban en Japonés) del casillero y son dirigidas de regreso a proveer las estaciones de trabajo aguas arriba. Donde sirve como orden de un nuevo casillero de partes. Este casillero de partes es entonces removido en las estaciones de trabajo aguas arriba y dirigidas a las estaciones de trabajo aguas abajo. Como consecuencia, la dirección de la solicitud es iniciada por la estación de trabajo siguiente (aguas abajo) y subsecuentemente las partes solicitadas son proporcionadas por la estación de trabajo anterior (aguas arriba) y entregada a la estación de trabajo posterior (aguas abajo). Con el registro del número de piezas terminadas en el buffer de las estaciones, se da lugar a un red Pull [17].

Para facilitar la descripción del sistema Kanban [18, 19] considere una línea tándem asociación de dos grupos o personas trabajando en una misma actividad; en este caso la estaciones de trabajo, N , distribuidas en S etapas de producción. Cada etapa de producción consiste en uno o más sitios de trabajo y cada uno tiene un Buffer de almacenamiento intermediario local ilimitado para almacenar piezas que aún no han sido terminadas. En una etapa i de la producción, hay Kanbans de k_i , y estaciones de trabajo de N_i . Una pieza debe adquirir un Kanban libre para entrar en la etapa i de producción, una vez que la pieza se haya incorporado a la estación de trabajo, recibe una nueva producción Kanban que sigue siendo unida a la pieza mientras que todos los pasos de trabajo asociados a la tarjeta Kanban culminen. Cuando el proceso de la pieza ha sido completado en la etapa de producción i , esta pieza terminada es llevada a la salida del buffer donde espera para ser retirada

por la etapa $i + 1$. El kanban asociado a esta pieza terminada es separado tan pronto como la pieza es removida por la etapa siguiente (aguas abajo). El Kanban desatado es regresado sin ninguna demora a la entrada del buffer donde sirve como una señal de pull para la etapa de aguas arriba $i - 1$.

Para que un sistema Kanban funcione en su eficacia máxima [20], es mejor utilizar los tamaños predeterminados de la porción para la producción de todas las piezas. Esto permite que se reduzca al mínimo la disposición y los costos de producción tanto como sea posible en este tipo de sistema.

6.2 Señales del Sistema Kanban

Un sistema de señal Kanban es ilustrado en la Figura 6.1 el flujo de material es mostrado por la línea recta, el movimiento de los Kanban por la línea punteada, considere la etapa i en la Figura.

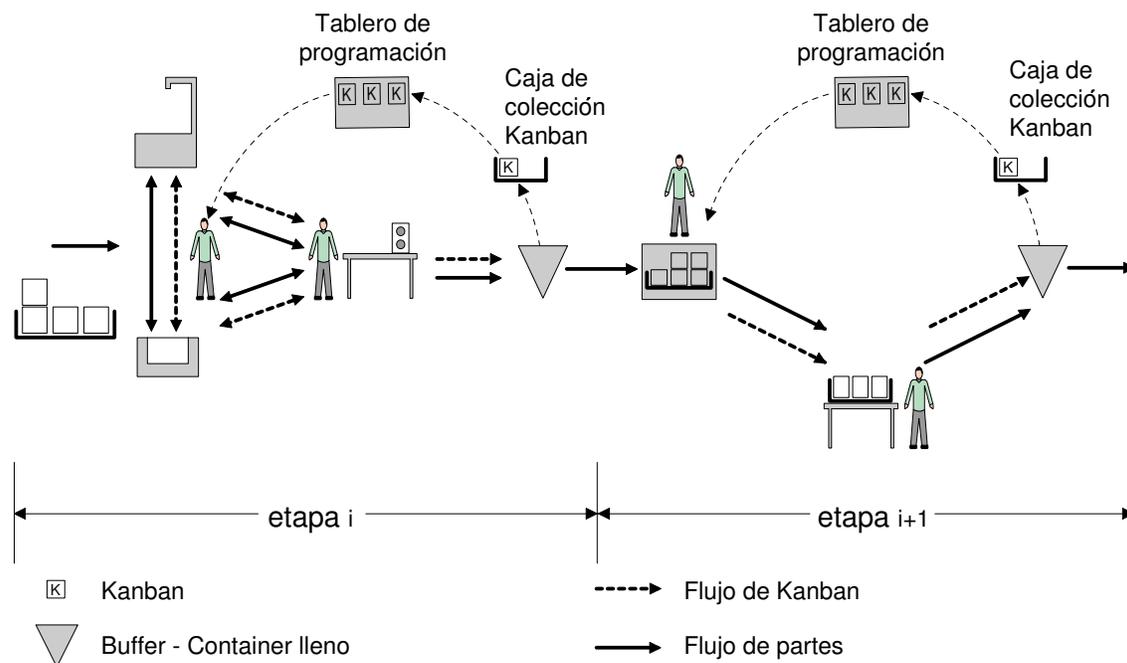


Figura 6.1: Señal del Sistema Kanban

[21] El centro de trabajo está encargado de mantener un container lleno de partes en la salida del buffer de cada Kanban. Cuando la estación de trabajo subsecuente $i + 1$ requiere partes, el operador o encargado de los materiales transporta un container de partes desde la salida del buffer de la etapa

i a la etapa $i + 1$. La disciplina es requerida aquí porque el operador debe primero remover la orden de Kanban de producción, *Production Ordering Kanban* (POKs) en la etapa i y llevar el Kanban en la etapa i a la caja de colección (*collection box*). Los Kanban sueltos son arreglados dentro de la secuencia de la producción y movidos al tablero de programación inmediatamente o a algún punto de reparación en un futuro cercano. Cuando el operador en i se encuentra disponible, el tablero de programación es verificado por los Kanbans. Los Kanbans en el tablero son arreglados dentro de la programación de producción.

Este tipo de señales de sistema Kanban es usado cuando las estaciones de trabajo están cerca [22, 23]. Esencialmente, la salida del buffer en la etapa i es la entrada al buffer en la etapa $i + 1$. Los estados consecutivos son enlazados por ese buffer intermedio de partes. Porque la etapa i es encargada de mantener una cantidad fija en el buffer de cada tipo de parte, el sistema puede ser puesto en marcha asignando un espacio en el almacén dedicado para cada tipo de parte. El tamaño de espacio corresponde al espacio requerido para almacenar el número de partes definidas por el sistema de los Kanbans para ese tipo de partes. La necesidad para el Kanban real es eliminada porque el espacio vacío esta relacionado a los Kanbans en el collection box. Este concepto de espacio da significado al término Kanban squares, el cual es algunas veces usado para describir esta señal de sistema Kanban.

En la Figura está implícito que una señal de estación de trabajo existe en cada estado. En la actualidad cada etapa podría ser cualquier estación de trabajo o un departamento entero. Dentro de la estación de trabajo o el departamento, la información debe existir para cada tipo de parte o producto producido. Una vez autorizado y relacionado, las partes empiezan a producirse en la primera estación de trabajo. Los movimientos entre estaciones de trabajo dentro de una etapa se realizan mediante el sistema Push, las partes son automáticamente autorizadas a pasar a la siguiente estación de trabajo. El tiempo lead en un sistema Kanban es contado a partir del tiempo que el Kanban es removido del container hasta que el Kanban vuelve a entrar al buffer con un container lleno de partes. Varios elementos se combinan para formar el tiempo lead. Primero, esto puede ser una demora en recoger el Kanban y moverlo al tablero de producción, una vez esto, se debe formular una programación, y el Kanban debe esperar hasta que esta producción sea planeada. Este tiempo variará basado en la utilización de los centro de trabajo y si una disciplina continua o periódica es usada. Finalmente, el container debe pasar directo a cada paso de procesamiento en la celda. Por cada operación, se puede presentar una espera por el procesamiento, y una espera por el encargado del material, seguido por el movimiento en cada operación.

6.3 Doble Sistema Kanban

El doble sistema Kanban es usado cuando hay largas distancias entre estaciones de trabajo y se presenta la necesidad de introducir buffer a las estaciones de trabajo en la etapa donde está el material sin procesar y en espera de ser adicionado a la salida del buffer usado en el sistema de señal Kanban. El sistema de operación es ilustrado en la Figura 6.2. Se continua usando la orden de producción Kanban del sistema de señales, pero se agrega la orden de retiro del Kanban *Orden de Retiro Kanban (Withdrawal Ordering Kanbans) (WOKs)* para cada tipo de parte. El sistema tiene dos flujos. La orden de producción Kanban sigue el mismo flujo de antes, entre la salida del buffer, la caja de colección, el tablero de programación, las estaciones de trabajo y el regreso a la salida del buffer. Las órdenes de retiro Kanban, son a veces remitidas al Kanban de transporte como la requisición de materiales. Este trabaja de la siguiente manera. El encargado del material periódicamente verifica el retiro de Kanban de la caja de colección. Si el Kanban está presente, el encargado del material se mueve desde la etapa $i + 1$ a la salida del buffer en la etapa i para obtener la requisición de partes para la orden de retiro Kanban. En la etapa i , el operador remueve la orden de producción Kanban los lleva al tablero de programación. Una orden de retiro Kanban es agregada a cada container y ellos son llevados a la entrada del buffer en la etapa $i + 1$. Las ordenes de retiro Kanban son removidos por el container solo cuando esos primeros containers de partes son introducidos a la producción en la etapa $i + 1$. Los dos flujos; por lo tanto, controlan la producción y el transporte.

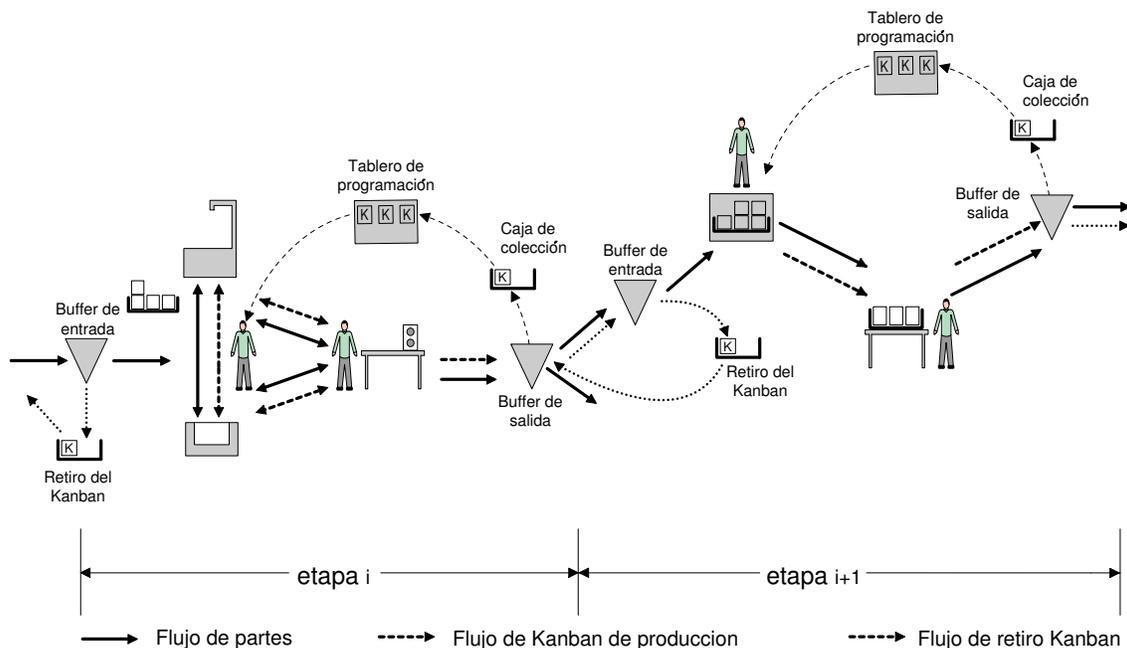


Figura 6.2: Doble Sistema Kanban

Una mínima transferencia de mezcla, por ejemplo puede ser definida por la etapa i de materiales. Cuando ese número de retiros por cada tipo de partes es acumulado, el encargado del material regresa a i a extraer más containers de partes. En lugar de una transferencia de mezcla, un sistema periódico puede ser implementado en cada intervalo de reparación, tal como dos veces al día, todos los Kanban sueltos son recogidos en la etapa $i + 1$, y el encargado del material reabastece la cantidad de cada material sin procesar. Las órdenes de producción Kanbans permanecen en un estado de señal, reciclado entre el buffer de salida, el tablero de programación, los procesos y el ciclo de retiro Kanbans entre la entrada a los buffers en la etapa $i + 1$, la caja de colección de la etapa $i + 1$, y la salida del buffer en la etapa i .

El sistema de señal Kanban es usado en aquellas empresas donde hay facilidad de producción y la distancia entre materiales es corta. Los sistemas *Dual Kanban* son útiles cuando esa distancia es larga. Mientras que la transferencia de material puede ser dirigida por una línea de trabajadores en un sistema de señal Kanban, se minimizan los tiempos perdidos de producción al hacerse este recorrido.

Se describe el sistema como si estuviera en serie, con la salida de la etapa i dirigiéndose únicamente a la etapa $i + 1$. En este caso, es a menudo fácil ubicar las etapas adyacentes una de la otra y evitar separaciones entre las salidas y entradas a los buffers. El sistema *Dual Kanban* es a menudo usado en sistemas más generales. La etapa $i + 1$ puede tener material sin procesar de varias etapas anteriores, y la etapa i puede tener este material para múltiples centros de trabajo. El centro de trabajo posterior puede no estar con la misma facilidad. El número de orden de producción Kanban dependerá del tiempo de reabastecimiento y la demanda total para cada parte. Para un componente en común, esto incluye demanda agregada para la parte entre todos sus usuarios. El número de retiros Kanban para cada parte dependerá de la proporción de uso del material sin procesar en el centro de trabajo y que el material llegue a tiempo. Muchos centros de trabajo podrían tener retiro de Kanban para los mismos componentes estándar.

6.4 Señales Híbridas de Sistema Kanban

Un acercamiento común es un sólo sistema Kanban híbrido [24] que utiliza el push para los lanzamientos de la orden y pull para el transporte normal. Una programación de producción es construida, usando MRP (*Planeación de los requerimientos de material*) u otra herramienta de

planeación, para fijar metas de producción para cada departamento por día. El centro de trabajo es el encargado de resolver esta programación sobre el curso del día pero se presenta la dificultad de que las tareas que se escojan, provenientes de la salida del buffer no funcione en alguno de sus productos. Esto le permite al centro de trabajo escoger un batch en los días completos de producción para una parte en particular si eso ahorrara en la disposición. La autorización de producción es proporcionada por la programación, y las órdenes de producción Kanban son eliminadas. Las órdenes de retiro Kanbans son aún utilizadas para controlar la disposición de partes entre los centros de trabajo. WOKs son usados de la misma manera como en el sistema dual Kanban para controlar la entrada del los buffers, para alisar el flujo de partes entre los centros de trabajo, y para informar a los trabajadores donde encontrar piezas y materiales.

6.5 El Caso Toyota

Los gigantes en la manufactura Japonesa y Coreana [25] deben su éxito no a una mejor administración, no a una labor más barata, no a una forma de gobierno favorable a la industria y no a una industria mejor financiada, sino que deben su éxito a una mejor tecnología de manufactura; y el sistema de producción Toyota [26], es a uno de los cuales les ha dado esa ventaja competitiva en el mercado mundial.

El sistema de producción Toyota, es un revolucionario sistema adoptado por las compañías Japonesas después de la crisis petrolera [27] de 1973. La compañía Toyota lo empezó a utilizar a principios de los años 50 y el propósito principal de este sistema es eliminar todos los elementos innecesarios en el área de producción que incluyen:

- Desde el departamento de compras de materia prima
- Servicio al cliente
- Recursos humanos
- Finanzas, etc

Siendo utilizado para alcanzar reducción de costos nunca imaginados y cumpliendo con la necesidades de los clientes a los costos más bajos posible. Existen varios conceptos del sistema de

producción Toyota, a continuación se mencionan [28] brevemente.

- **Manufactura Justo a Tiempo**, que significa producir el tipo de unidades requeridas, en el tiempo requerido y en las cantidades requeridas. JIT elimina inventarios innecesarios tanto en proceso, como en productos terminados y permite rápidamente adaptarse a los cambios en la demanda.
- **Fuerza de trabajo flexible (*Shojinka*)** que significa variar el número de los trabajadores para ajustarse a los cambios de la demanda; los empleados cuando menos, deben de conocer las operaciones, anterior y posterior a la que están realizando y deben de ser capaces y estar dispuestos a realizar diferentes tipos de actividades en cualquier área de la compañía. Si la compañía se preocupa por la familia del trabajador, el trabajador se preocupa por la compañía.
- **Pensamiento creativo o ideas creativas (*Solikufu*)** que significa capitalizar las sugerencias de los trabajadores, para lo cual se necesita tener recursos disponibles para responder a estas sugerencias. Es mejor no tener un programa de participación de los empleados que tener uno al cual no se le presta la debida atención. Si se esta pidiendo sugerencias para mejorar, la compañía se debe tener un sistema de respuestas a esas sugerencias.

El sistema de producción Toyota establece varios puntos para hacer que los objetivos de los 3 conceptos se alcancen y son la base del sistema de producción Toyota.

1. ***Sistema Kanban***. Es un sistema de información que controla la producción de los artículos necesarios en las cantidades necesarias, en el tiempo necesario, en cada proceso de la compañías y también de sus proveedores. Establece un sistema de producción en el cual los productos son halados por la siguiente estación, los productos no pueden ser empujados por la primera estación. Los productos son halados al ritmo que se necesitan. La ultima estación es la indica el ritmo de la producción.
2. ***Cambio***. La línea produce una gran variedad de productos cada día en respuesta a la variación de la demanda del cliente. La producción es lograda adaptando los cambios de la demanda diariamente y mensualmente.
3. ***Reducción del tiempo de set-up***. El producto que llega primero al mercado goza de un alto porcentaje de ganancias asociadas con la introducción inicial del producto.

4. ***Estandarización de operaciones.*** Se trata de minimizar el número de trabajadores, balanceando las operaciones en la línea, asegurando que cada operación requiera del mismo tiempo para producir una unidad. El trabajador tiene una rutina de operación estándar.
5. ***Distribución de máquinas y trabajadores con múltiples funciones.*** Que permiten tener una fuerza de trabajo muy flexible, los cuales deben ser muy bien entrenados y tener una gran versatilidad que se logra a través de la rotación del trabajo y continuamente se evalúan y revisan los estándares de rutina de operación, y las máquinas podrán ser colocadas en distribuciones en forma de "U" donde la responsabilidad de cada trabajador será aumentada o disminuida dependiendo del trabajo a realizar en cada producto.
6. ***Mejoramiento de actividades.*** Las cuales están enfocadas a reducir costos, mejorar la productividad, reducir la fuerza de trabajo, mejorar la moral de los empleados. Este mejoramiento se realiza a través de equipos de trabajo y sistemas de sugerencias.
7. ***Sistemas de control visual.*** Que monitoreen el estado de la línea y el flujo de la producción. Con sistemas muy sencillos, por ejemplo algunas luces de diferentes colores que indiquen alguna anomalía en la línea de producción. Algunos otros controles visuales como hojas de operaciones, tarjetas de Kanban, display digitales, etc.
8. ***Control de calidad en toda la compañía.*** Que promueva mejoras en todos los departamentos, por medio de la acción de un departamento y reforzado por otros departamentos de la misma compañía. Teniendo especial atención en la junta de direcciones para asegurar que se presente la comunicación y operación en toda la compañía.

Los Kanban circulan de la siguiente forma:

1. Cuando las piezas necesarias en la línea de montaje se van a utilizar, primero se recoge un Kanban de transporte y se coloca en un lugar específico.
2. Un trabajador lleva este Kanban hasta el proceso previo para obtener piezas procesadas. Retira un Kanban de producción de un palet de piezas procesadas y lo coloca en una posición prefijada. El Kanban de transporte se coloca en el palet y se transporta a la línea.
3. El Kanban de trabajo en proceso o Kanban de producción retirado del palet en el proceso previo, sirve como tarjeta de orden o instrucción de trabajo que promueve el procesamiento de piezas semiprocessadas aprovisionadas desde el proceso previo.

4. Cuando ocurre esto la tarjeta de producción correspondiente al proceso anterior se retira de un palet de piezas semiproducidas y se reemplaza por un Kanban de transporte.

7. ESPECIFICACIÓN DE PARÁMETROS DE EVALUACIÓN

El sistema Kanban opera sin coordinación de altos niveles. Los parámetros de control para el sistema son el tamaño del container y el número de Kanbans para cada tipo de parte [21]. A continuación se verán algunos de los métodos para fijar estos parámetros.

7.1 Selección del Tamaño del Container

Se empieza la discusión de especificación de parámetros considerando el número de unidades autorizadas para un Kanban. Se denota n_i para partes de tipo i . para muchas partes, el número autorizado para un Kanban ha estado tradicionalmente fijo a la cantidad de los ajustes convenientes en un container de material; porque cada Kanban debe ser transportado con estas partes; éste es fácil de implementar. Simplemente se fija el Kanban al container indicando el número de partes autorizadas. Una simple verificación de que el sistema está funcionando correctamente puede ser chequeos visuales para comprobar que cada container tenga un Kanban de acompañamiento.

Los costos de inventario se convierten en una preocupación secundaria [29] cuando se especifica la cantidad de Kanbans o el tamaño del container. Los costos de inventario se derivan del nivel de los inventarios promedio, y los niveles de inventario son usualmente pequeños en el sistema Kanban. El nivel de inventario promedio en el buffer es determinado por el nivel de inventario máximo menos el número esperado de unidades en la orden. El máximo inventario es $k_i \cdot n_i$ donde k_i es el número de Kanbans en el sistema de partes tipo i . Las unidades en la orden son todas asociadas con el Kanban actual en el reabastecimiento. El tiempo de reabastecimiento, y no el tamaño del contenedor es quien determina el número promedio de unidades en la orden. Como resultado, la cantidad de Kanbans son autorizados de acuerdo a las consideraciones del material. La excepción a esto proviene de las unidades que ya han sido removidas de la salida del buffer pero no han sido puestas todavía en la entrada de la producción de la siguiente etapa. Cuando el container es retirado, todas las partes del container se mueven al siguiente centro de trabajo. Esto no es un problema si la entrada del container de partes es usada inmediatamente para hacer un container de

productos en la siguiente etapa. Sin embargo, si las partes son introducidas a la producción en un centro de trabajo lento, un paso intermedio en vez de usar el container lleno a la vez, entonces, en promedio, sería; $\frac{n_i-1}{2}$ partes de tipo i pendientes en el siguiente centro de trabajo. Si el tamaño del container es grande, se puede tener costos medibles del inventario relacionados con el tamaño del container. Sin embargo, en muchos casos, n_i es algo pequeño, y la entrada del inventario al buffer resulta ser del tamaño del container.

En muchas circunstancias, varios materiales y tecnologías son posibles; entiéndase por tecnología la forma en que se va a transportar el container. Por ejemplo se podría pedir que el trabajador lleve una parte a la vez entre operaciones, o que empuje un carro con un grupo de piezas entre estaciones de trabajo, o usar montacargas para transportar una carga de la plataforma. En cada caso, se tiene un número máximo de unidades que pueden ser movidas cada vez usando este método. Para una demanda anual de D_i y tamaños de carga n_i se mueven $\frac{D_i}{n_i}$ cargas por año. Cada opción de material tiene su costo fijo por año, más el costo variable basado en el costo total del viaje. Dado la disposición de la facilidad, se puede medir por la distancia total del viaje para el container desde el comienzo del centro de trabajo con el proceso y finalmente al punto de entrada en la siguiente etapa. Si se denota las opciones de la tecnología por j , entonces el modelo del costo para la selección de n_i , se convierte en:

$$\max_j \left(c_{1ij} + c_{2ij} \frac{D_i}{n_i} \right) + \frac{h_i(n_i - 1)}{2} \quad (7.1)$$

sujeto a:

$$n_i \leq N_i \quad (7.2)$$

Donde:

c_{1ij} y c_{2ij} representan los costos fijos por tiempo y variable por costos de movimiento de la parte de tipo i usando la tecnología j .

N_j es el tamaño de carga máxima del material.

En la ecuación (7.1) se ha incluido los costos de mantener los containers parcialmente cargado

de partes almacenadas en el sitio de trabajo sucesor. Este no es significativo en muchos casos, sin embargo, su presencia en la ecuación proporciona un modelo más completo. El peso, el tamaño, la forma, la rigidez, y el empaclado interactúan con la tecnología que está siendo usada para determinar el N_j . Así, se usa el contenedor de tamaño más grande permitiendo escoger la tecnología. Con esta observación, se facilita comparar los costos dados en la ecuación (7.1) para cada tecnología y seleccionando la opción más económica. En general la solución puede ser encontrada en la ecuaciones (7.1) y (7.2) para cualquier tecnología j , brevemente ignorando la restricción, se puede diferenciar la ecuación (7.1) con respecto a n_i , se obtiene:

$$\frac{\partial Costo}{\partial n} = \frac{-c_{2ij} \cdot D_i}{n_i^2} + \frac{h_i}{2}$$

Y si se fija esto a cero (nótese que la segunda derivada es mucha mayor a cero).

$$n_{ij}^* = \sqrt{\frac{2c_{2ij}D_i}{h_i}} \quad (7.3)$$

El problema de escoger la tecnología, se asemeja a la decisión del precio de rotura. Si el n_{ij}^* de la ecuación (7.3) es factible para la tecnología j , entonces este es un container. Si n_{ij}^* es tan grande, entonces la opción para la tecnología j es usar n_i . La opción final de tamaño del container es denotada por n_{ij}^* .

Ejemplo 7.1

La parte inferior de una impresora pasa por tres pasos: modelado, ajuste y detallado. La tabla 7.1 proporciona el ajuste de costos anuales, costos por carga y el tamaño máximo de transporte para tres opciones de direcciones. Escoger el tamaño del container y la tecnología. El sistema producirá 200.000 unidades por año. El costo de mantener el inventario anual es de \$2 por unidad.

Tabla 7.1: Costo de Mantenimiento de material y factores de productividad

Opción	Costo Anual	Costo por transporte	Tamaño de carga máxima
Manualmente	\$ 27.000	\$0.15	2
Carro	\$ 28.000	\$0.16	20
Montacargas	\$ 50.000	\$0.90	500

Solución:

El proceso de la solución implica el encontrar la mejor capacidad para el tamaño del container para cada tecnología, entonces se comparan los costos de esas opciones. Sustituyendo los valores en la ecuación (7.3) se tiene:

$$n_{ij}^* = \sqrt{\frac{2c_{2ij}D_i}{h_i}} = \sqrt{\frac{2c_{2ij}(200.000)}{2}} = 447.21 \sqrt{c_{2ij}}$$

De este modo se tiene que:

$$n_{i,maual}^* = (0.6708)(447.21) = 300$$

$$n_{i,carro}^* = (0.6928)(447.21) = 310$$

$$n_{i,montacaga}^* = (1.6431)(447.21) = 447.21$$

Los tres casos, están restringidos por el tamaño de carga máxima. Así, se comparan los costos usando los tamaños de carga factibles como sigue:

$$Manual : \$27.000 + \$0.15 \frac{(3)(200.000)}{2} = \$72.000$$

$$Carro : \$28.000 + \$0.16 \frac{(3)(200.000)}{20} = \$32.800$$

$$Montacarga : \$50.000 + \$0.90 \frac{(3)(200.000)}{500} = \$51.080$$

Es obvio escoger el carro, con un tamaño de container $n_{ij}^* = 20$, ya que su costo es mucho más

económico en comparación con las otras alternativas.

7.2 Selección del Número de Kanbans

La variable final de control para tipo de pieza es el número de Kanbans para mantener activo el sistema de producción. Se ha notado que el número máximo de piezas i es dado por el producto del número de Kanbans, k_i y el número de unidades autorizadas por el Kanban, n_i . Cuando la primera parte es removida por el container en la salida del buffer de la estación de trabajo, el Kanban comienza a reabastecer el proceso. Las partes asociadas con un Kanban específico no se necesitarán hasta $n_i \cdot k_i$ unidades que son requeridas por la estación de trabajo sucesora. Cuando el Kanban entra en la producción, encuentran las partes restantes del container más los $k_i - 1$ containers de otras partes delante de él en su esfuerzos de responder a la salida del buffer. El avance del Kanban y futuro cliente se muestra en la Figura 7.1. Las piezas en el almacenamiento y en el proceso son numeradas para demostrar como emparejar con la demanda de un futuro cliente. Para evitar escases, este Kanban debe regresar a la salida del buffer con un container lleno de partes antes de $n_i \cdot k_i$ mas unidades requeridas. Sin embargo, las partes son demandadas a la medida D_i , y el tiempo lead para reabastecer el container es, τ_i la escases entonces será evitada en promedio, si $n_i \cdot k_i \geq \tau_i \cdot D_i$. Para manejar aleatoriedad en la demanda y en tiempo lead, se ha agregado un factor de seguridad de l . combinando este factor, se fija el número de Kanban al entero mayor, por lo que:

$$k_i \geq \frac{\tau_i \cdot D_i(1 + l)}{n_i} \quad (7.4)$$

Esencialmente, hay que fijar la meta de inventario para igualar el tiempo lead de la demanda $\tau_i \cdot D_i$ más algún factor de seguridad.

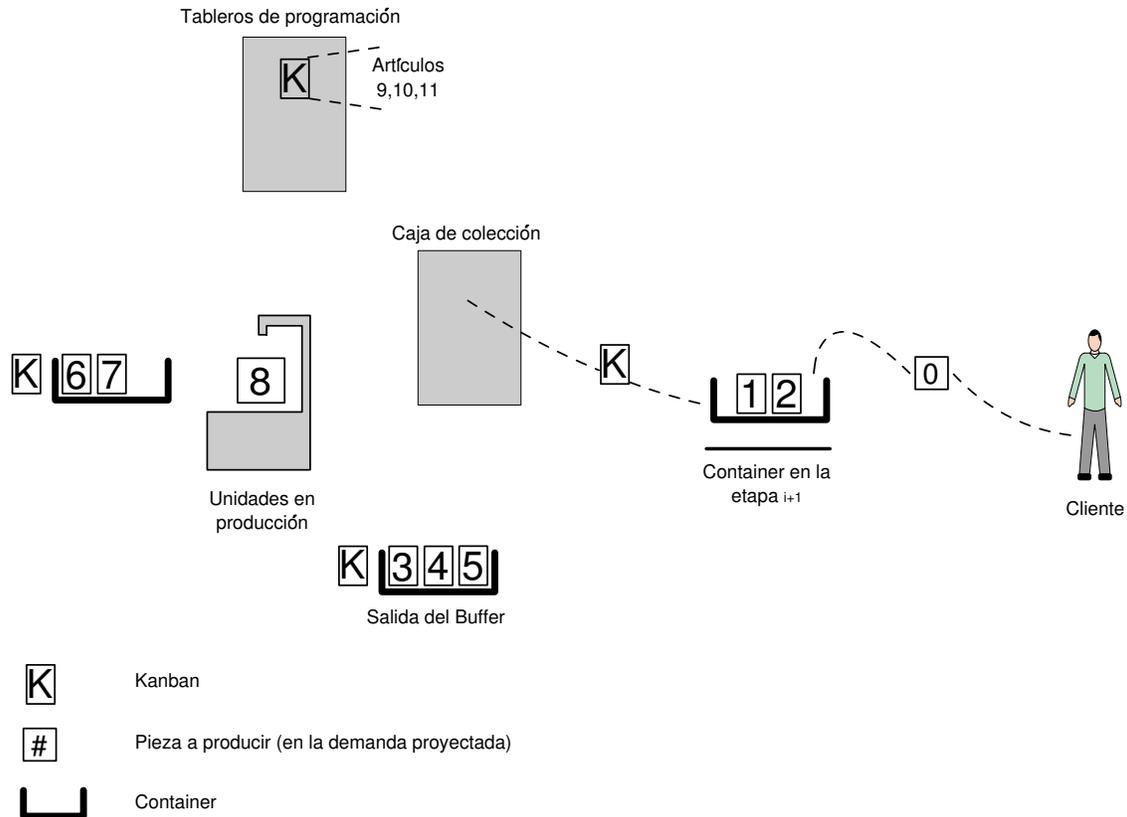


Figura 7.1: Ilustración del Cubrimiento Kanban: Emparejando el Sistema a una Futura Demanda

Ejemplo 7.2

Una prensa de secador forma una variedad de piezas de hoja de metal. Un equipo dedicado a la reducción del setup en la disposición ha tenido éxito, reduciéndolo a 2 minutos. Es factible producir ahora seis artículos a la vez cuando la máquina se fija hasta hacer una pieza. Los seis artículos se pueden apilar y mover como una sola carga. La demanda para un artículo se fija a 75 unidades por día. Con los pequeños tamaños de lote, el reabastecimiento de tiempo lead de piezas es constante en dos horas (0.2) días. Encuentre el número mínimo de Kanbans necesarios para evitar escases. Cómo se solucionaría si el Kanban fuera recogido una vez al día, y cada tipo de parte fuera producida una vez por día en una cantidad igual al producto del tamaño del container y el número de Kanbans recogidos para ese tipo de partes?.

Solución:

Para encontrar un límite más bajo, se puede asumir que la variabilidad del tiempo lead de la demanda son mínimos y el ajuste $l = 0$. Entonces se tiene que:

$$k = \left\lceil \frac{\tau \cdot D}{n} \right\rceil = \left\lceil \frac{(0.2)(75)}{6} \right\rceil = \lceil 2.5 \rceil = 3$$

Se supone que los Kanbans fueron recogidos y cada parte programada una vez al día. El tiempo lead demandado ahora es igual a la demanda diaria y:

$$k = \left\lceil \frac{D}{n} \right\rceil = \left\lceil \frac{75}{6} \right\rceil = 13$$

Claramente el inventario máximo posible será mucho más grande en el segundo caso. Sin embargo, esos Kanbans extras usualmente estarían en el tablero de programación esperando a ser producidas. Porque ellos no estarían asociados con la adición de partes a *WIP (Work In Process, Trabajo en Proceso)*. Por qué se debe referir a su presencia? La respuesta miente en la dinámica de cómo el sistema Kanban se adapta al cambio. Se supone que el cambio de demanda, quieren otras piezas en lugar de los Kanbans. Con un sistema Kanban, se continuara relleno los diez containers adicionales y almacena 13 container llenos a la salida del buffer. Mientras se rellenan ese container, se retrasa el aumento del índice de producción de esos artículos que están siendo demandados. Así, los pedidos pendientes pueden acumularse como Kanban para que nuevamente las partes deseadas esperen su turno en el tablero de programación.

Se ha presentado la lógica que el número de Kanbans es ajustado al reabastecimiento antes de que el tiempo lead de demanda sea considerado. Esto parece ser natural, por lo tanto hay que dimensionar el tiempo lead de demanda. El acercamiento más simple sería seguir el tiempo lead de demanda en un cierto plazo. Esto puede hacerse fácilmente registrando la sincronización de todos los retiros de la salida del buffer. Cuando un Kanban es removido de un container, el tiempo es notado. Cuando el Kanban regresa a la salida del buffer unido al container lleno, se cuenta el número de unidades de ese tipo de partes que han sido removidas del inventario durante el tiempo lead. Esa muestra estadística puede entonces ser agregadas dentro de la descripción del tiempo lead de demanda distribuido. Aunque los valores consecutivos pueden ser correlacionados por el ocupado y periodos flojos del proceso. Si el centro de trabajo está produciendo una variedad de piezas debería mitigar el efecto de auto correlación en los datos. Si este no es el caso, entonces se puede muestrear los abastecimientos lejanos aparte para que no esté prácticamente correlacionado.

Ejemplo 7.3

La tabla 7.2 presenta la lista de retiros y abastecimientos de un tipo de parte. Los tiempos registrados son en días seguidos de un "/" por las horas (medidas en 1/100s de 1 hora). El día de trabajo consta de 10 horas, cada container contiene 6 unidades del tipo de parte. Estime el tiempo lead de la distribución de demanda y calcule el número de Kanbans requeridos.

Tabla 7.2: Datos de la pieza 23A567

Retiros	Reabastecimiento
14/8.45	15/1.15
15/0.85	15/9.80
15/8.95	16/2.20
16/7.10	16/9.30
17/3.60	17/6.70
18/5.75	18/9.10
19/1.35	19/4.15
14/9.37	15/3.60
15/6.20	16/0.50
16/2.35	16/8.10
17/0.10	17/3.90
17/8.55	18/0.25
18/7.20	19/1.45

Solución:

El primer tiempo lead es 2.7 horas, desde la hora 8.45 del día 14 hasta la hora 1.15 del día 15. Las 2.7 horas incluyen las últimas horas del día 14; $10\text{horas} - 8.45\text{horas} = 1.55\text{horas}$ y las primeras 1.15 horas del día 15. El segundo tiempo lead las últimas 0.63 horas del día 14 hasta las primeras 3.60 horas del día 15, en total son 4.23 horas. Calculando el tiempo lead para los 13 datos de la tabla y computándolos se obtiene un tiempo lead promedio de 3.88 horas y una desviación estándar de 1.87 horas. Los datos parecen tener una distribución normal.

Desde la hora 8.45 del día 14 hasta la hora 1.35 del día 19, 12 container de 6 unidades son consumidos, lo que quiere decir que 72 unidades son consumidas en 42.9 horas o 16.8 unidades por día. Convirtiendo ambos, tiempo y demanda en horas, esto rinde un promedio de demanda de lead time de $\tau \cdot \bar{D} = (3.88)(1.68) = 6.5$ unidades. Asumiendo que la demanda es constante, la

desviación estándar de la demanda tiempo lead es $\widehat{\sigma_{\tau D}} = (1.87)(1.68) = 3.1$ unidades.

Para calcular el número de Kanban se tiene:

$$k = \frac{\tau \cdot D(1+l)}{n} = \frac{6.5 + 1.645(3.1)}{6} = 2$$

Se requieren 2 containers de 6 unidades cada uno.

Una de las funciones de Kanban es la de transmitir la información al proceso anterior para saber cuáles son las necesidades del proceso actual. Si hay muchos Kanbans, la información deja de ser tan efectiva, si hay muchos Kanbans no se sabe cuales partes son realmente las necesitadas en ese momento. Si se reduce el número de Kanbans se reduce el número de setup. Mientras menos Kanbans existan es mejor la sensibilidad del sistema.

7.3 Selección de la Cantidad de Producción

Se ha seleccionado el tamaño del container basado en las consideraciones del manejo del material y el número de Kanbans basado en la distribución de la demanda lead time. El sistema Pull interviene en la reducción del tiempo de setup. Sin embargo, en muchos casos, el tiempo de setup es significativo [30], se puede determinar una cantidad mínima permisible de producción. Una señal Kanban puede ser usada en este caso. Si la capacidad es limitada al centro de trabajo. Entonces se debería producir un lote de tamaño grande para cubrir el setup externo del siguiente trabajo.

Q_i : Tamaño del lote. Entonces:

$Q_i \geq \frac{s_{2,i+1}}{t_i}$ mantendrá la máquina activa mientras la operación siguiente comienza a ser preparada. En segundo lugar, si existe tiempo de setup interno, se podrá limitar el número de setup por año para alcanzar la meta de producción. Si el $s_{1,i}$ es el setup interno para cada parte i , entonces se tendrá la siguiente restricción.

$$\sum_i \left(s_{1,i} \frac{D_i}{Q_i} + t_i D_i \right) \leq 1 \quad (7.5)$$

$s_{2,i}$: Tiempo de setup externo para la parte i .

t_i : Tiempo de procesamiento por unidad para la parte i .

$i + 1$: La siguiente parte i en la estación de trabajo.

$$Q_i = \text{Max} \left(n_i^*, \left\lceil \frac{s_{2,i+1}}{t_i} \right\rceil, Q_i^o \right) \quad (7.6)$$

Q_i^o : Valor fijo más pequeño que satisface la ecuación (7.5)

Nótese que si el operador realiza el setup y debe atender a la máquina mientras esta está funcionando, entonces se puede considerar todo el tiempo de setup interno. En un centro de trabajo multioperacional, se puede evaluar la ecuación (7.6) para cada estación de trabajo k individualmente y entonces seleccionar el más grande n_i^* para cualquier estación de trabajo.

Ejemplo 7.4

En el ejemplo 7.1 suponer que muchos modelos de impresoras tienen un rendimiento de producción de 200.000 unidades por año. El setup interno es 0.0001 años. Para simplificar la programación, la compañía le gustaría que el tamaño batch sea el mismo del tamaño del container; y esto para todos los modelos de impresoras. El setup externo y el tiempo de procesamiento unitario para las tres etapas son dadas en el tabla 7.3. Encuentre el tamaño del container apropiado.

Solución:

Se debe encontrar un límite más abajo impuesto por las tres estaciones de trabajo basadas en el manejo del material de acuerdo a la tecnología, el setup interno y el setup externo. Para el ejemplo

Tabla 7.3: Datos de operación para el ejemplo 7.4

Estación de trabajo	Setup externo (años)	Tiempo de procesamiento unitario (años)
Moldeado	0.0002	0.000003
Ajustes	0.0003	0.000003
Detallado	0.0001	0.000003

7.1 el $n_i^* = 20$, y este es el valor verdadero para cada modelo. Los setup externo inducido por el mínimo batch son:

$$Q \geq \frac{0.0002}{0.000003} = 66.7, Q \geq \frac{0.0003}{0.000003} = 100, Q \geq \frac{0.0001}{0.000003} = 33.3$$

Finalmente si todos los tamaños de batch son el mismo, y teniendo en cuenta la ecuación (7.5); el setup requiere:

$$(0.0001) \frac{200.000}{Q} + (0.000003)(200.000) \leq 1$$

El más pequeño tamaño de batch es $Q = 50$ para cada tiempo de setup factible. El más grande de los límites más bajos es 100, que esta determinado por la operación de ajuste. Así se fija el $Q = 100$ con un container de 20. Se deben hacer 100 unidades, se espera hasta que 5 containers o Kanbans estén disponibles. Produciendo 100 unidades a la vez se tiene $200.000/100 = 2000$ setup por año, los cuales consumirán $(2000)(0.0001) = 0.2$ años.

El tiempo unitario de procesamiento consume $(2000.000)(0.000003) = 0.6$ años. Esto produce un factor de utilización total de 80% para las estaciones de trabajo.

8. TARJETAS KANBAN

8.1 Las Tarjetas Kanban

Las señales Kanban son de diferentes tamaños y formas. La señal tradicional es una tarjeta que contenga la siguiente información.

- ***Número de la pieza y su descripción:*** Muchas veces será necesario, incluir el nombre o número del producto; en este caso, la nomenclatura se referirá al producto en general, y no al componente en particular. esta característica permitirá evitar confusiones, en el sentido de que las partes que componen un determinado producto, efectivamente lleguen a ese producto. No vaya a ser que ciertas piezas por error se extravíen en el camino, ocasionando pérdidas de tiempo y dinero.
- ***Cantidad requerida:*** Este punto es de mucha importancia, puesto que es vital y absolutamente necesario, conocer la cantidad requerida para poder producir. Una vez recibida la tarjeta y ésta posea errores, desembocarán en graves problemas para la empresa. Puede darse el caso que falten componentes, y por lo tanto haya que parar la producción; por el contrario, puede ser que dichos materiales estén de más, resultando pérdidas por mercancía obsoleta.
- ***Número de piezas que hay en el container:*** Los Kanban son tarjetas que indican u ordenan, un nuevo despacho de pedidos. Estas describen su origen, cantidad e identidad de los productos a despachar. por lo que cada parte del componente deberá estar bien definida o clasificada por un código o clave que podrá estar compuesta por números o letras, o una combinación de ambas. Además, puede incluir una descripción del componente, característica que podrá facilitar la comprensión y actuación de los involucrados en la producción.
- ***Tipo de manejo de material requerido:*** Muchos componentes requerirán un trato especial en lo que respecta a su manejo. Gran cantidad de materiales poseen características que provocan que su manejo sea realizado en forma cuidadosa. Estas características se pueden presentar en diversas formas y por diversos motivos, los cuales pueden ser: clima, si el producto es

perecedero o no, si es frágil, o si requiere ser mantenido en una posición perenne. La preocupación acerca de la calidad de los materiales y la seguridad del funcionamiento de proceso, y su manejo en las estaciones de trabajo, llevan a muchas plantas de manufactura a un proceso de lotes (Push). Establecer programas en la manufactura, resulta en órdenes de trabajo para las cantidades de piezas o subensambles. Entonces es programado en lotes.

- ***Dónde será almacenado cuando sea terminado:*** Los materiales son recibidos, inspeccionados, almacenados y distribuidos, basados en el programa predeterminado. Estos mismos materiales, en la forma de subensamble se almacenan de nuevo. Si hay defectuosos, o presentan errores de ensamble, grandes cantidades de piezas o subpiezas son producidas y almacenadas, quizá por días o semanas. En todo caso, si el producto ya estuviera terminado, será menester almacenarlo en algún lugar. El Kanban es quien lo dirige rápidamente al lugar de almacenamiento si pérdida de tiempo ni esfuerzo.
- ***Punto de reorde:*** Las posiciones de artículos en los inventarios se deberá revisar periódicamente, el número de órdenes se emitirá uniformemente a lo largo de la determinación de la producción. El punto de reorden revisara la posición de inventario de artículos intermedios, y los que acaban de entrar. El sistema Kanban es simplemente una forma conveniente para implementar una estrategia de lote pequeño y una manera de exponer problemas ambientales. Es un sistema de poco papel, las decisiones cotidianas para poner nuevas ordenes son hechas por los trabajadores.
- ***secuencia de ensamble/producción del producto:*** La secuencia de ensamble producción, llamada flujo, es de importancia primordial, y ésta se obtiene mediante el equilibrio. La información de la tarjeta Kanban puede contener en lo concerniente a este punto lo siguiente:
 - El tiempo del ciclo
 - La carga nivelada
 - El ritmo de producción
 - La frecuencia

La correcta aplicación de Kanban requerirá la capacitación, fuerza laboral y recapitación. El contenido de la secuencia de ensamble colaborará a buscar en lo que a stock se refiere, la cantidad minima posible en el momento posible, y la eliminación de existencias.

Las empresas que realizaban sus operaciones fabriles en un medio donde había mucha grasa fueron las primeras en abandonar las tarjetas, que pronto se hacían ilegibles. Con los años, se han ideado

diversas señales, de uso frecuente son las placas metálicas fijadas a canastas o tintas. Estas pueden llevar los mismos datos que las tarjetas, o bien estar codificadas por color, formas o ambas cosas.

Hewlett-Packard sencillamente coloca cintas adhesivas en forma de cuadros en el piso. Si el cuadro esta vacío, esta es una señal para reponer el artículo.

Cummins Engine utiliza bolitas de ping-pong de colores. General Motors envía señales Kanban a sus proveedores, de computador a computador.

Cada vez es mas frecuente ver que los recipientes mismos sirven de señal, tanto internamente como con los proveedores.

8.2 Contenido y Diseño de las Tarjetas Kanban (Un Caso de Estudio)

En esta sección se analizará el diseño y el contenido de una tarjeta Kanban, junto con la tecnología de la codificación de barra y códigos de colores, esto puede mejorar el control de la producción y la base de datos integrada. Se estudiará el formato de las tarjetas para materia prima, trabajo en proceso (WIP), y producto terminado.

Waterville TG [31] especializado en diseño y manufactura de tiras de tiempo de alta calidad para carros de varias fórmulas de caucho. WTG tiene una línea cerca de 385 diferentes modelos de tiras de tiempo diseñados para casi todo tipo de automóviles. Desde 1988 esto ha sido una producción propia de Toyota Gosei, una multinacional y líder en el mundo en la fabricación de goma de urethane y productos plásticos para carros.

Como se muestra en la Figura 8.1 , la producción en WTG está basada en 4 etapas de proceso de fabricación. La primera etapa es un proceso continuo en el que la goma sintética es mezclada con otros ingredientes para formar un compuesto de caucho en forma de cinta. En la segunda etapa, el compuesto de caucho es introducido a la línea de extrusión, donde es moldeado y cortado de acuerdo a las especificaciones. La parte de extrusión es moldeada en la tercera etapa. La cuarta y última etapa consiste en toda aquella operación secundaria tal como ajuste, y forrado, realizado en

gran parte por los subcontratistas. La cuarta etapa del proceso es diseñada para satisfacer al cliente.

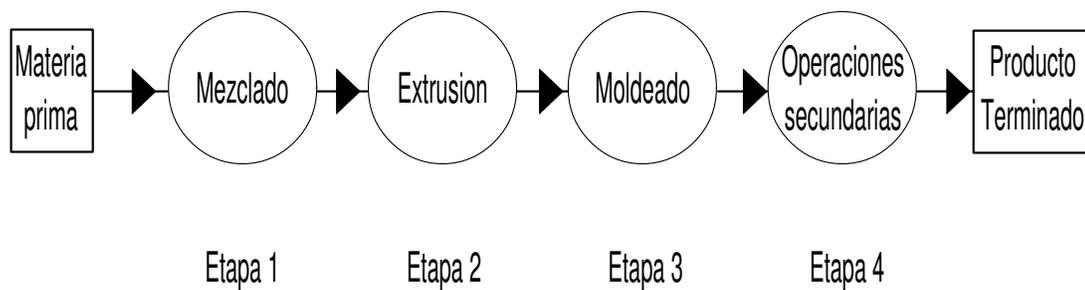


Figura 8.1: Proceso de Producción de Waterville TG

WTG ha estado usando Kanban de varias formas desde 1990. Esto ha hecho frente a múltiples implementaciones tales como validación de la cuenta de información de materiales, acuerdos para incluir actividades en cada flujo, diseño y contenido de diferentes tarjetas, determinación del número de tarjetas en cada flujo y entrenamiento tanto en la filosofía del JIT como en la técnica del Kanban.

8.2.1 Materia Prima

La Figura 8.2 muestra un ejemplo de una tarjeta Kanban de materia Prima. Esta tarjeta indica el número de partes con una descripción, cantidad predeterminada de partes por tarjeta, área de recepción, zona de almacenamiento, número de Kanban y código de barras. Para una tarjeta de materia prima, el número de Kanban es quien identifica esa tarjeta en el sistema, el código de barras consta del número de Kanban, número de partes y cantidad. Nótese que la información pertinente al producto (número de partes, descripción y cantidad) son agrupados juntos para una rápida identificación.

			
Número de parte 003.00.247		Punto de almacenamiento W1-2	
Cantidad predeterminada por tarjeta 80	Unidad alternativa de medida 1/3 PAL	Descripción	
		Área de recepción W.A.T	
		Número de Kanban 3	

Figura 8.2: Tarjeta Kanban de Materia Prima

Como en el ejemplo mostrado en la Figura 8.2, una unidad alternativa de medida puede también estar presente. Eso sucede cuando la cantidad mínima enviada por el surtidor corresponde a varios días de abastecimiento. Una vez al asignar un Kanban por container WTG “rompe” el container en cantidades más pequeñas para asegurar un flujo de información más continuo y para evitar la reorden de un container tan pronto como comience a ser usado.

La tarjeta se imprime en papel blanco, y se inserta en una bolsa plástica transparente protectora que alternativamente se coloca en una bolsa auto-adhesiva. Esta es unida al container de materia prima. El agujero perforado en la parte superior izquierda asegura que, una vez usado, la tarjeta sea colgada correctamente en el tablero de producción del Kanban para luego ser recogida. Esta técnica aceleró el proceso de producción.

Cuando la cantidad recibida excede el límite de tolerancia permitido $\pm 5\%$ de la cantidad predeterminada por el Kanban, WTG usa tarjetas especiales, llamadas Kanban 9000, en la cual el espacio correspondiente a la cantidad se deja en blanco. La cantidad recibida es escrita a mano en el auto-adhesivo y es introducida manualmente al sistema de planeación de requisición del material. Puesto que en el WTG el número de tarjetas en el ciclo de reabastecimiento no está fijo, el código de barras es usado para registrar las transacciones de los inventarios. Las tarjetas se identifican únicamente por el número del Kanban (numero 3 en este ejemplo), y es el interruptor para “activar” o “desactivar” el estado cuando el material es recibido. Una vez el material ha sido consumido, las tarjetas son analizadas y su estado cambia de “activado” a “desactivado”. Las tarjetas son entonces reutilizadas al azar cuando un nuevo envío llega. Así, en cualquier momento

y para cualquier número de parte, WTG sabe con precisión el nivel de inventario (número de tarjetas activadas). Además, sabiendo cuándo cada tarjeta fue activada, permite el mejor control de (FIFO), primero en entrar primero en salir.

8.2.2 Trabajo en Proceso (WIP)

La Figura 9.3 muestra un ejemplo de un Kanban WIP. Esta tarjeta indica el tipo de Kanban (WIP), número serial, número de Kanban, número de partes (la cual incluye una revisión general), descripción de las partes, cantidad por Kanban, código de barras, centro de producción y la localización dentro del stock antes de ser movido al siguiente proceso. Para una tarjeta WIP, el número del Kanban es equivalente al número de partes. Este es el número serial que únicamente identifica a una tarjeta WIP en el sistema. El código de barras de un Kanban WIP, contiene así el número serial, número de partes y cantidad. Las tarjetas WIP no son actualmente analizadas. El código de barras fue introducido solamente con la expectativa de necesidades subsecuentes. Toda esta información se imprime en un papel blanco.

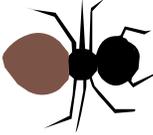
Tipo de Kanban		Producción		○
Descripción		Número de parte		
		140.24.27X		
				
Número de Kanban	Punto de almacenamiento	Cantidad por Kanban		
E182	W1-2	1200		
	Centro de trabajo de producción			
	W11			
Proceso de producción				
E				

Figura 8.3: Tarjeta Kanban de Trabajo en Proceso

Vale la pena precisar que el número genérico de revisión (la “x” al final del número de parte) es una mejora que el WTG trajo a WIP y a las tarjetas de productos terminados para facilitar la gerencia en los cambios de la ingeniería. La información de los cambios de ingeniería está dada por el sistema MRP y reconocida cuando el Kanban es analizado.

Además de la información presentada en el papel, el Kanban WIP también identifica el proceso de producción. El proceso es impreso en otro papel con un código de colores de acuerdo al tipo de proceso, de modo que el personal pueda identificarlo rápidamente.

La última información encontrada en un Kanban WIP es la identificación de familia (la hormiga en el ejemplo). Por razones de control visual, se utiliza una identificación diferente por familia y es asignado a cada producto terminado y asociado a las partes WIP. Por lo tanto la identificación por familias y el código de familia trabajan como herramientas del Poka-Yoke.

La tarjeta, es el resultado de 4 años de prueba y error, consiste en tres hojas puestas en una bolsa de plásticos. Un sello tipo Ziplock fue colocado a la bolsa para un mejor manejo. Después de pocos experimentos, la ubicación del código de barras fue movida media pulgada debajo del sello para evitar problemas en el análisis. El agujero perforado en la parte derecha se utiliza para colgar la tarjeta en el tablero de producción.

Después de probar varias versiones de esta tarjeta, WTG encontró que el manejo del material era más fácil cuando ellos incluían solamente la información que cambiaba un poco o en lo absoluto los plazos. La información variable tal como el surtidor, el nombre del subcontratista y la cantidad de las piezas es anotada en una hoja de identificación.

La figura 8.4 muestra un ejemplo de una hoja de identificación, similar al formato de la tarjeta Kanban. Esta contiene el proceso de producción, número del Kanban, número de partes y descripción, área de producción, y la identificación de la familia a la que pertenece, exactamente la misma forma que el Kanban WIP. El número de identificación del surtidor, el tipo de container usado, cantidad por container (una fracción de la cantidad total del Kanban), nombre del subcontratista y en el caso de dos hojas de identificación como en el ejemplo, el tamaño de la extrusion. La hoja de identificación es impresa en papel a color que es igual al color de la identificación de la familia del Kanban WIP.

La hoja de identificación es colocada detrás del Kanban WIP y ambos son introducidos en la misma bolsa de plástico auto adhesivo. La disposición de la tarjeta se diseña de tal forma que cuando la hoja de identificación se coloca por debajo del Kanban WIP, la información necesitada (en este caso el tamaño de extrusión y el nombre del subcontratista) pueden ser vistos. Además, el número del Kanban así como el color de identificación de la familia son visibles permitiendo

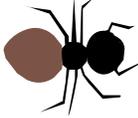
	Número de parte 140.24.27X	Número de identificación proveedor 006	Tipo de container BO TE LH BLEU	Número de Kanban E 1 8 2
	Descripción	Centro de trabajo de producción W11	Cantidad 60	
Proceso de producción E	Número de pieza 776/77	Nombre del subcontratista 835 MM Shipping Aquacoupe		

Figura 8.4: Tarjeta de Identificación ID

así el control visual, de esta forma actúan como un instrumento del Poka.Yoke para evitar que un Kanban sea unido a un container no correspondiente.

En este ejemplo, la cantidad total por Kanban (1.200 unidades-lote de producción) es distribuida dentro de varios containers (20 containers de 60 unidades). La bolsa plástica auto-adhesiva que contiene el Kanban WIP con su hoja de identificación es unida entonces al container y a la misma vez es colocada en los otros containers en los que se dividió este lote. Las partes WIP están listas para proceder al área de producto terminado o llevarlas al subcontratista.

8.2.3 Producto Terminado

El WTG desarrolla dos tarjetas de producto terminado que en común funcionan como un Kanban de producción. En los productos terminados las dos tarjetas son usadas en lugar de una sola para evitar los altos costos de análisis a cada producto terminado en el centro de trabajo. La producción Kanban (*P* card) para analizar el informe de la transacción de producción; el despacho Kanban (*E* card), la cual transporta la señal de producción, junto con el resto de productos terminados hasta el despacho. Las tarjetas *E* y *P* de productos terminados tienen la misma disposición como en el Kanban WIP.

La tarjeta *P* es ubicada encima de la Tarjeta *E* y ambas son insertadas en una bolsa de plástico auto-adhesiva y son unidas al container de productos terminados. Estas tarjetas igual que las de ma-

teria prima y producto en proceso son diseñadas de tal forma que se pueda facilitar el control visual.

Cuando la materia prima llega al área de despacho, la tarjeta de producción es removida y analizada para reportar la transacción de producción, aumentado así, el nivel de inventario de producto terminado. Alguien que vea una tarjeta *P* en un container en el área de despacho sabría inmediatamente que la transacción de producción no ha sido reportada. Una vez analizada la tarjeta *P* regresa al tablero de producción de producto terminado.

En este momento, la tarjeta es colocada en el container de producto terminado hasta que los productos son despachados al cliente. Momentos antes del cargamento, la tarjeta *E* es removida y regresada al tablero de producto terminado. La tarjeta de despacho transporta la señal de producción, el número de esa tarjeta en el flujo es controlado, esto mismo no sucede con la tarjeta de producción.

La tarjeta *P* y *E* son ilustradas en la Figura 8.5

Tipo de Kanban Produccion		Número de serie 484002378		○
				
Descripción			Número de Kanban	
Número de parte 992.24.27X		Cantidad por Kanban 1200	U327	
Nombre del subcontratista 835 MM Shipping Aquacoupe				
Proceso de producción P			Proceso de producción E	

Figura 8.5: Tarjeta Kanban P y E de Producto Terminado

9. COSTOS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA

Para el estudio de costos de implementación del sistema se supondrá lo siguiente: cualquier tiempo, sin escasez de la demanda en el sistema. El costo de escasez de productos terminados es cero puesto que la línea considerada produce solo un tipo de pieza, el costo del set-up es despreciable, factor de seguridad del tiempo lead es cero, no hay stock de seguridad en la línea considerada.

Para sincronizar la producción Kanban de la estación de trabajo; la estación de trabajo debe alcanzar la salida de la demanda requerida con el mínimo nivel de inventario [32]. La producción debe igualar la demanda del cliente.

$$\mu_w = D_c \quad (9.1)$$

Donde:

μ_w : Porcentaje de unidades en la estación de trabajo por unidad de tiempo (unidad/unidad de tiempo).

D_c : Demanda promedio a la salida, recibida por el cliente (unidad/unidad de tiempo).

Además, la llegada en promedio de productos en proceso a la estación de trabajo, (unidad/unidad de tiempo) debe ser:

$$\lambda_w = (s)(\mu_w)(\rho) \quad (9.2)$$

Donde:

s : Número de operaciones en la estación de trabajo.

ρ : Porcentaje de utilización de la estación de trabajo.

Las unidades en promedio de producto en proceso existen en la línea de producción en cualquier momento (*WIP*) y el tiempo lead, o el tiempo promedio que la pieza se demora en la estación de trabajo o en el flujo del sistema (*l*) están representados en las ecuaciones (9.3) y (9.5).

$$WIP = \left[\frac{(s\rho)^2(\pi_0)}{(s)!(1-\rho)} \cdot \frac{1}{\lambda_w(1-\rho)} + \frac{1}{\mu_w} \right] \quad (9.3)$$

$$\pi_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{s-1} (s\rho)^n/n + (s\rho)^s/s!(1-\rho)} \quad (9.4)$$

π_0 : Probabilidad que todos los operaciones trabajen a un ritmo más lento.

$$l = \left[\frac{(s\rho)^2\pi_0}{s!(1-\rho)} \cdot \frac{1}{s\mu_w - \lambda_w} + \frac{1}{\mu_w} \right] \quad (9.5)$$

Como resultado al sistema Kanban de producción controlada, la demanda debe ser equivalente al máximo de productos que pueden ser producidos (capacidad de producción) por la estación de trabajo. Las fórmulas son usadas para encontrar el mínimo WIP del flujo de producción bajo los supuestos expuestos al inicio del capítulo.

Los costos de operación consisten en cuatro componentes principales: la primera parte.

C_{sw} : Costo de ordenar, transportar y comprar la materia prima (\$).

Los costos por la compra de materiales están dados por la letra *b* (\$/unidad comprada).

Los costos mantener y transportar (costos por ordenar) están dados por la letra *o* (\$/Kanban surtido).

El segundo grupo lo compone:

C_w : Costo de procesamiento de la demanda total (\$).

Implica los costos de unidades procesadas y está dado por la letra *p* (\$/unidad).

Y una cantidad fija de costos igual al costo de instalación de una operación en la estación de trabajo, representado por *i* (\$/operación).

El siguiente costo compuesto por:

C_{wc} : Es el costo de transportar la cantidad demandada al cliente (\$).

El costo de transportar depende del costo de tener y transportar un Kanban al cliente, señalado por la letra c (\$/Kanban).

El último costo lo compone:

C_{WIP} : Es el costo total de llevar WIP en el sistema y es estimado por el promedio unitario h (\$/unidad/unidad de tiempo).

Esto es necesario para tensionar en ésta sección de trabajo que el sistema ha sido diseñado para evitar escasez de productos terminados (costos de escasez cero), y es asumido un solo artículo y (el costo del set-up es despreciable).

El costo de operación total es entonces T_{oc} y es:

$$T_{oc} = C_{sw} + C_W + C_{wc} + C_{WIP} \quad (9.6)$$

Donde C_{sw} , C_W , C_{wc} y C_{WIP} están expresadas en las ecuaciones (9.7), (9.8), (9.9) y (9.10) respectivamente.

$$C_{sw} = \lambda_W \cdot b + k_s \cdot o \quad (9.7)$$

$$C_W = p \cdot D_c + s \cdot i \quad (9.8)$$

$$C_{wc} = c \cdot k_i \quad (9.9)$$

$$C_{WIP} = h \cdot WIP \cdot l \quad (9.10)$$

$$k_s = \frac{\lambda_W}{n_s} \quad (9.11)$$

$$\tau = \frac{n_i}{\mu_W}$$

Como ya se vio en el capítulo 7, τ es el tiempo lead para reabastecer un container.

k_i : Número de retiro Kanban y es igual al número de Kanban de producción.

k_s : Número de surtidor Kanban.

Los valores de λ_W , WIP y l son obtenidos de las ecuaciones (9.2) (9.3) (9.5) respectivamente y n_s puede ser asumida como n_i (número de unidades autorizadas por el kanban).

Ejemplo 9.1

Una estación de trabajo requiere a la salida una demanda de 12 unidades por día. Si el sitio de trabajo posee un equipo de manejo de material igual a la carga máxima de 6 unidades por día y si la estación de trabajo incluye dos operaciones con un promedio de utilización del 100% (caso ideal), entonces.

$$\mu_W = D_c = 12 \text{ unidades por día}$$

$$\tau = \frac{6}{12} = 0.5 \text{ días.}$$

De la ecuación (7.4) se puede calcular el número de Kanbans.

$$k_i = \frac{(0.5)(12)}{6} = 2.$$

$$\lambda_W = (2)(12)(1) = 24 \text{ piezas por día.}$$

$\pi_0 = 0$ Probabilidad que todas las operaciones trabajen al ritmo más lento.

$$WIP = \left\lceil \frac{1}{\mu_W} \right\rceil = \frac{1}{12} = 0.0833 \text{ unidades.}$$

$$l = \left[\frac{1}{\mu_w} \right] = \frac{1}{12} = 0.0833 \text{ días.}$$

Los anteriores valores indican que la estación de trabajo, esta trabajando a su máxima capacidad en tiempo con el 100% de su utilización. En la práctica esto es difícil de alcanzar. El sistema diseñado debe tener alguna modificación considerando una baja utilización o incrementando el número de operaciones.

10. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SISTEMA KANBAN

10.1 Kanban y Otros Métodos

Kanban es solo una de las muchas formas de alcanzar el control [33] de la producción coordinando múltiples procesos.

Eslabonamiento físico (*Physical Linking*) es otra forma de coordinar. Aquí cada etapa del proceso esta sincronizada y cada paso empieza simultáneamente. Los procesos deben tener la misma capacidad y pre ubicación.

En emisión, *Broadcast* una operación de ensamble final construye directamente la programación. La programación es emitida simultáneamente a las operaciones aguas arriba del subensamble. Ellos construyen las partes necesitadas en orden, colocados en la línea con un pequeño desplazamiento de tiempo de holgura. en la entrega. Este sistema no requiere pre ubicación, requiere tamaños idénticos (usualmente uno) para todos los procesos.

Los sistemas de programación Kanban son útiles cuando los tamaños de los lotes difieren entre los pasos del proceso, cuando la producción no es balanceada o cuando las distancias introduce tiempos de retraso o variabilidad. Estos sistemas levemente acoplan los procesos.

MRP (*Materials Scheduling Planing*). Planeación de los requerimientos de material. Trabaja para planificar el material, stock, rutinas, tamaños de inventario y pronósticos. Este planea cada paso del proceso para cada producto y subensamble. El sistema acumula demanda para cada centro de trabajo y cada período de tiempo. MRP permite una efectiva programación bajo las más difíciles condiciones.

Esta capacitado para conectar una producción separada que viene con un precio. MRP permite de

alguna forma de descuidar la ingeniería. Los costos de administración son altos, los tiempos de preparación de una pieza Throughput son largos y los ciclos de inventario son bajos.

El Kanban es un sistema de información manual para respaldar el control de inventarios JIT. No necesariamente está casado JIT con Kanban. En el futuro se espera que los sistemas JIT estén basados en tecnología de transferencias de información más actual y elaborada. Una desventaja del Kanban es el tiempo necesario para transmitir la información nueva por el sistema. La Figura 10.1 es un esquema de un proceso de producción en serie con seis niveles. Con el sistema Kanban, la dirección del flujo de información es opuesta a la del flujo de la producción. Si se presenta un cambio repentino de requerimientos en el nivel 6 este cambio se transmite primero al nivel 5, después al nivel 4, y así sucesivamente. Podría haber bastante demora en el tiempo desde el instante en que ocurre el cambio en el nivel 6 hasta que la información llegue al nivel 1.

Un sistema centralizado de procesamiento de información podría aliviar este problema. Si hay cambios repentinos en los requerimientos en un extremo del sistema, causados por cambios no planeados de la demanda, o descomposturas de equipo clave, dichos cambios se transmitirán en forma instantánea a todo el sistema.

La planeación de requerimientos de materiales tiene una ventaja importante frente al Kanban en este caso. Uno de los puntos fuertes de MRP es su capacidad de reacción a los cambios pronosticados del patrón de demanda. El sistema MRP recalcula las cantidades de producción con base en esos cambios, y hace que esta información sea asequible en forma simultánea a todos los niveles. La MRP permite que la planeación se lleve a cabo en todos los niveles en una forma que no es posible con JIT, y en especial con Kanban. Como hace notar Meal (1984).

“La producción JIT trabaja bien cuando la tasa general de producción es constante, pero no es satisfactoria para comunicar los cambios básicos en la tasa de producción en las etapas anteriores de proceso. . . . Por otro lado, al usar la planeación jerárquica de producción, los gerentes de planta no confían en sus señales a corto plazo para establecer sus tasas tempranas de producción” [34].

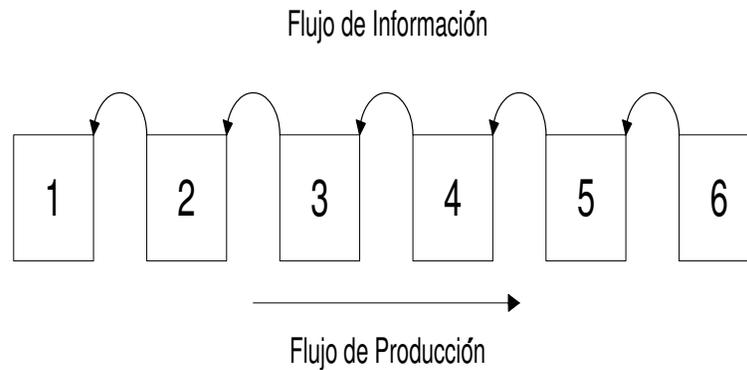


Figura 10.1: Sistemas Kanban

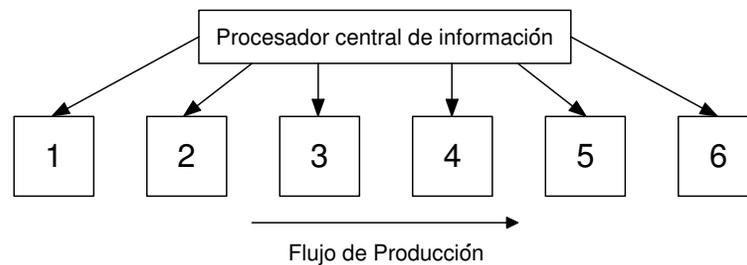


Figura 10.2: Sistemas Centralizados

El punto de reorden (ROP) es un sistema de almacén donde cada producto trabaja en sentido descendiente en los centros de trabajo de requerimientos. ROP hace señales cuando en el inventario se hace necesario cubrir el tiempo de reabastecimiento.

10.2 Limitaciones del sistema Kanban

El kanban es factible en prácticamente toda fábrica que haga artículos por unidades completas, pero no en las industrias de proceso. Sólo rinde beneficios en ciertas circunstancias:

- El Kanban debe ser un elemento del sistema JIT. Tiene poco sentido aplicar un sistema de extracción si se requiere un tiempo interminable para extraer las partes necesarias del centro de trabajo productor, como ocurriría si los tiempos de preparación son de horas y los lotes son grandes. La característica fundamental de JIT es la reducción de los tiempos de preparación y

el tamaño de los lotes, lo cual permite “extraer” rápidamente partes de los centros de trabajo productores.

- Las partes incluidas en el sistema Kanban deben ser usadas cada día. Kanban proporciona por lo menos un container lleno de un determinado número de partes, lo cual no es mucho inventario ocioso si todo el recipiente se utiliza el mismo día en que es producido. Por lo tanto, las compañías que tienen un sistema Kanban, lo aplican por lo general a los números de parte que se usan mucho; pero reponen las que se usan poco siguiendo las técnicas occidentales convencionales
- Las unidades muy costosas o muy grandes no se deben incluir en el Kanban. Su almacenamiento y manejo son costosos. Por lo tanto, su solicitud y entrega deben ser reguladas con precisión bajo la vigilancia de un planificador o agentes de compras

10.3 Desventajas

- Un plazo de abastecimiento demasiado grande excluye la elección del método Kanban. Pues tendría muy desocupados a los trabajadores.
- El sistema no tiene ninguna anticipación en caso de fluctuaciones muy grandes e imprevisibles en la demanda. Puede anticiparse a ellas pero no solucionarlas
- Es difícil de imponerles este método a los proveedores.
- Las aplicaciones son limitadas (solamente para una producción continua o repetitiva). El método Kanban es aplicable a producciones de tipo “masa” para las cuales el número de referencias no es muy elevado, y la petición es regular o a reducidas variaciones.
- Reducir el número de Kanban sin aportar los mejoramientos radicales al sistema de producción, arrastrará retrasos de entrega y de espera entre operaciones y en consecuencia, pérdidas importantes.

10.4 Ventajas

El sistema Kanban, sin lugar a dudas envuelve por sí sólo una gran cantidad de ventajas, por lo que se han considerado solamente unas cuantas, las más importantes, siendo las siguientes:

- Reducción de los niveles de inventario
- Reducción de WIP (Work In Process)
- Reducción de tiempos caídos
- Flexibilidad en la calendarización de la producción y la producción en sí
- El rompimiento de las barreras administrativas (BAB) son archivadas por Kanban
- Trabajo en equipo, círculos de calidad y autonomía (decisión del trabajador de detener la línea)
- Limpieza y mantenimiento (housekeeping)
- Provee información rápida y precisa
- Evita sobreproducción. Minimiza desperdicios

10.5 Promotor de Mejoras

Un sistema Kanban promueve mejoras en los siguientes aspectos:

1. ***En las situaciones anormales:*** El Kanban hace patentes las situaciones anormales cuando se provocan por distintas causas, que muchas veces están fuera de los límites que se pueden manipular. Estas causas pueden ser muy variadas y de distintas índoles, provenir de diferentes fuentes, y sus remedios unas veces fáciles y otras veces difíciles. Permite sugerir una lista de factores, que deben ser considerados cuando se analizan las contingencias que han obligado a algunos productores Japoneses, a transformar las prácticas de gestión utilizadas en sus plantas fuera de Japón; a continuación se muestra una lista de algunas de ellas.
 - Averías de máquinas y defectos del producto
 - Tamaño de la compañía
 - Potencial de negociación con proveedores, gobiernos y sindicatos
 - Mentalidad, formación y costumbres de los directivos contratados localmente
 - Existencia de sindicatos a escala sectorial
 - Resistencia de los trabajadores hacía las nuevas prácticas

- Incapacidad para adaptarse a los mayores requerimientos de las plantas Japonesas
- Inexistencia de proveedores de calidad capaces de producir justo a tiempo
- Resistencia de los proveedores locales a participar en sistemas JIT
- Imposibilidad de concentrar geográficamente a los proveedores
- Problemas de entendimiento debido a la forma diferente de concebir una relación proveedor-comprador

2. *Teoría de las restricciones*. Una reducción gradual en el número de Kanban conduce a reducciones en el stock, lo que termina con el rol de stock como amortiguador frente a las inestabilidades de la producción. Esto pone al descubierto los procesos infracapacitados y a los que generan anomalías, y simplifica el descubierta de los puntos que requieren mejora. La eficiencia global se incrementa concentrándose en los elementos débiles (Teoría de las Restricciones).

11. ALGUNAS EXPERIENCIAS

En la actualidad, la necesidad de producir en forma eficiente, es decir, sin retrasos en la entrega de productos al cliente, manteniendo la calidad y a bajo costo, es un factor importante para las empresas que deben ser competitivas en un mercado como el actual, que exige respuesta pronta a sus requerimientos de compra. Por lo tanto la implementación de sistemas de producción eficientes es algo primordial que debe implementar las empresas industriales de manufactura.

Debe aclararse que implementar un método como el Kanban implica la implementación previa de otros métodos de gestión tales como, Método 5S, Técnica SMED, Distribución en planta, Trabajo en equipo, y finalmente el método Keizen.

Es necesario también implementar una capacitación sobre estos temas y agregar herramientas para la solución de problemas tales como las *7 pérdidas en producción o nivelación de la producción*.

El método Kanban es un método que no trabaja sólo, lo hace en conjunto con otras herramientas del JIT, a continuación se expondrá algunos casos de estudio, empresas donde han implementado el Kanban apoyándose a la vez en otros conceptos como los que se mencionó anteriormente.

11.1 SCHNEIDER ELECTRIC

La empresa *Schneider Electric Mexico*, se dedica a la fabricación de *Breakers*, dispositivos y equipo de 1 a 52KV: interruptores, fusibles, disyuntores, contactores, transformadores, dispositivos aéreos, puestos de exterior e interior. Una de sus fábricas se encuentra ubicada en Santa Ana Chiautempan, Tlaxcala, es aquí donde se desarrollará el estudio.

La planta esta formada en celdas de manufactura. Cada celda se dedica al ensamble de una familia

de productos, la línea de ensamble MA, produce los artículos más costosos de la empresa. por esta razón es muy importante cuidar los costos en esta área.

Los *Breakers*, como se dijo anteriormente, son productos muy costosos en la práctica es difícil cumplir con las normas de calidad que exigen los clientes. Para satisfacer los estándares de calidad se hace necesario cuidar tanto la calidad de los proveedores como la mano de obra.

Línea de ensamble MA.

La estación de trabajo esta colocada en “U”, para facilitar el flujo del trabajo en proceso. Cada operario debe tener al alcance de la mano el material necesario para efectuar sus tareas. El abastecedor es el encargado de traer material de los *Racks* a las estaciones de trabajo.

Sistema Kanban en la Empresa.

En la línea de ensamble de la empresa *Schneider Electric Mexico* se utiliza el sistema Kanban para abastecer los materiales. Cada operador tiene un número de containers de material en meses de trabajo. Adicionalmente, en su lugar de trabajo tienen unas lámparas con tres colores; éstas lámparas indican el estado de la operación que se esta realizando.

- Verde. Están ensamblando el producto.
- Amarillo. No se encuentra trabajando la estación; esto se puede deber a que no se encuentra el operario o que falla alguna herramienta en la estación.
- Rojo. Indica que el material se ha terminado.

Al momento de accionarse la señal de rojo, la persona encargada de llevar los materiales, se acerca a la estación de trabajo, observa qué material es el que se ha agotado y se dirige a los racks o a los almacenes, para buscar dicho material y abastecer nuevamente la línea de ensamble.

Se observó el funcionamiento del sistema y se identificaron los siguientes problemas.

- El abastecedor tiene dificultades para encontrar el material en los racks y para saber cuál es el producto faltante en la estación de trabajo. Se requiere por lo tanto, codificar y actualizar

las partes que componen cada producto señalado en el catálogo, para que sea fácil tanto identificar el material que se debe abastecer, como encontrarlo en los racks.

- En las estaciones de trabajo, la ubicación de los container no es la adecuada, pues ocupan mucho espacio y no permiten que los operarios puedan realizar su trabajo. Se requiere buscar un lugar apropiado para los containers.

- Para estimar los costos por paro de la línea se pueden utilizar los siguientes datos.

T/M: tiempo muerto por paro de la línea por día: 1.8 horas.

C/P: Costo por no producir: 45 dolares/hora.

El C/P es calculado por parte de la empresa en términos de no cumplir con el cliente a la fecha de entrega, la empresa recibe una penalización por día.

Costo por dejar de producir = (45 Dolares/Hora)(1.8Horas)= 81Dolares/día.

Descripción del proyecto Water Spider.

Water Spider es una forma de abastecimiento de materiales en sistemas tipo Pull, basado en tener un suministro constante de partes frente al operador.

El proceso *Water Spider (WS)*, es una de las recomendaciones para alcanzar la excelencia en la manufactura. Su objetivo es tener las partes tan cerca de la línea de ensamble como sea posible, manejando para ello almacenes centrales en la planta de producción.

El WS entrega container pequeños a la línea en circuitos de reparto y recolección. Conforme entrega containers llenos, recoge los vacíos y los devuelve llenos en su siguiente recorrido. las partes que se manejan son típicamente pequeñas y de uso repetitivo. Las partes voluminosas o de gran tamaño, se agrupan y ordenan de acuerdo al orden en que se utilizarán y se entregan en un carro que se coloca al alcance del operador.

Estrategia para el buen funcionamiento del WS.

- El número de containers (excluyendo el que esta en uso) debe tener suficientes partes, para mantener al operador ocupado hasta que el WS haga su siguiente recorrido.

- El tamaño del container debe ser lo suficientemente pequeño para que todas las partes usadas en el ensamble puedan ser almacenadas al alcance del operador.
- La frecuencia de entrega del WS (cada 20min, 1hora, etc) se basa en el tiempo que se pueda trabajar con las partes que se pueda almacenar frente al operador.
- Cuando la parte es de bajo costo, es aceptable poner la demanda de una semana o hasta de un mes en cada container.
- Cada container del WS debe tener una tarjeta con la siguiente informacion:numero de partes, cantidad por container y ubicación de la pieza en el almacén y en la línea.
- Para evitar tener que contar las piezas muy pequeñas, el container puede tener una marca que indique hasta donde debe llenarse.

Resultados.

La combinación del sistema Kanban con el método WS, logró eliminar el problema de abastecimiento a la línea de producción, eliminando por completo los paros. Con ello se logró aumentar la producción de esta celda de manufactura en un 20%. Del mismo modo se eliminaron las dificultades a la hora de buscar los productos y el abastecimiento se volvió más rápido.

11.2 HARRY WINSTON RARE TIMEPIECES

La empresa HWRT [35] es una sociedad de relojes de lujo con sede en Ginebra y relativamente poca antigüedad. Fabrica un promedio de 4000 relojes al año y tiene una cifra de negocio de alrededor de 55 millones de euros. En la actualidad cuenta con 70 empleados y experimenta un crecimiento del 15% al 20% anual. Recibe cerca del 80% de sus pedidos en el mes de abril durante la feria anual de relojería de lujo en Basilea.

En principio la empresa tenía un gran problema de desorganización en cuanto al flujo de producción entre los departamentos de logística, compras y fabricación. La empresa necesitaba una reactivación en la producción y ser más flexible.

La empresa funcionaba con un sistema de producción MRP, que en un principio podría parecer el más adecuado. Sin embargo una vez estudiada de cerca la situación de la empresa se dieron cuenta

que pese a lo positiva que podía parecer la anticipación que proporciona este método, habían otros factores que hacían que éste no fuera el más propicio de los sistemas.

Decidieron que lo mejor sería implementar un sistema Kanban; en un principio podía no parecer el sistema más adecuado debido a la linealidad que requiere para su buen funcionamiento, pero en conjunto aporta una visualidad fundamental para la mejora de la producción en HWRT.

Los empleados aceptaron y entendieron rápidamente su papel y lo ejercieron con responsabilidad. Debido a la producción en pequeñas cantidades y a la buena comunicación entre departamentos se logró solucionar los retrasos.

A solo dos meses de haberse implementado el Kanban ya se notaban los cambios. Los dos indicadores que más tomaron en cuenta fueron en primer lugar: el número de piezas producidas por el departamento de fabricación (Sólo se encargaban de las cajas y los brazaletes en metal) que faltan en el momento del montaje del reloj y retrasan la producción, han pasado de 200 el primer día a 142 dos meses después. En segundo lugar, para concretar que el Kanban fue un éxito es el paso de un plazo de producción de 20 semanas a 6 semanas.

11.3 ALPARGATAS ARGENTINA

Alpargatas, fundada en 1885, ha sido siempre en Argentina un símbolo de buena calidad en los mercados de calzado casual. La compañía, con nuevas plantas en el país y otra en Uruguay, luchó contra la decisión del gobierno nacional de abrir su mercado y su economía a principios de los 90, luego de años de operar en una economía cerrada. Alpargatas, al igual que muchas otras empresas del ramo, enfrentó una competencia avasallante con la apertura que fomentó la importación. Los gustos de los consumidores cambiaron dramáticamente. El mercado demandaba mayor calidad. La importación de productos de calidad a menor costo llevó a la contracción del mercado de los productores argentinos, y sus ventas cayeron vertiginosamente.

Por un largo tiempo, muchos programas se mantuvieron sin atender. Ahora, no había más lugar para demoras en la entrega, retrasos en el lanzamiento de nuevos productos, y problemas de calidad. Había que responder a los llamados de los clientes. La orientación de la producción debía

ser reemplazada por la orientación al mercado.

El departamento de producción promovió las prácticas delgadas en la División Calzados. Se sabía que los sistemas vigentes hasta entonces no los iba a relanzar al cambio dada su ineficiencia.

A mediados de 1993, el nivel gerencial más alto decidió cambiar hacia una organización delgada y, después de bosquejar un plan estratégico, lo remitieron hacia la cúpula de directores, quienes decidieron crear un equipo de directores (ED) y contratar una consultora para planificar la transformación de los procesos.

Los indicadores de funcionamiento se basaban en variables tales como la respuesta de la producción a la demanda, el nivel de inventarios, la calidad, los costos, la productividad, los tiempos en la línea de producción, el tiempo de entrega, la respuesta a los pedidos, etc.

Un sistema de producción flexible y efectivo debía ser diseñado e implementado en toda la estructura, hacia el flujo. El plan recomendaba cambios en la gestión de la demanda.

Para comenzar la implementación se eligió una planta con dos mil trabajadores. Los cambios implementados pueden dividirse en cuatro etapas.

Etapas 1. Desde la producción "Batch" a las celdas de producción.

Convertir los centros de trabajo en células de manufactura fue el primer paso de la acción planificada hacia un sistema más flexible. Aunque no todos los centros eran aptos, el proceso crítico de producción fue finalmente transformado. El cambio permitió al proceso ganar flexibilidad, y programar los procesos en base a un índice de demanda; permitió encontrar nuevos productos demandados por los clientes.

Adoptando las celdas de producción en una porción del sistema mejoró los métodos de trabajo, redujo los requerimientos de espacio, el trabajo en proceso, los tiempos de ciclo y el tiempo necesario para el lanzamiento de nuevos productos. Asimismo, mejoró la calidad ayudando a presentar un mejor balance. Además, desarrollando, la cultura de trabajo en equipo, se reafirmaron

los resultados, y se motivó a la gente a mejorar continuamente la calidad. La comunicación proactiva y los esfuerzos unidos para resolver problemas y realizar mejoras se volvieron una parte importante del cambio cultural, y motivaron al resto de la gente en la mejora de la estructura.

Los supervisores fueron entrenados para motivar el trabajo en equipo. Al mismo tiempo, los trabajadores recibieron entrenamiento y se rotaban las tareas para desarrollar las habilidades funcionales de los trabajadores. Parte del entrenamiento estaba orientado a autocontrolar el equipo de cada uno, lo que permitió que la calidad surja desde el mismo proceso y minimizar el control al final de la línea de producción.

Las herramientas de la visión gerencial fueron desarrolladas e implementadas en todo el nivel, permitiendo a todos los trabajadores de producción (supervisores, jefes y gerentes) conocer el actual estado de cada centro de trabajo fácilmente a fines de corregir inmediatamente los posibles errores. Dos importantes procesos de producción fueron transformados en celdas de trabajo, y las herramientas industriales tradicionales eran frecuentemente usadas para mejorar los estándares de trabajo y lograr un flujo continuo dentro de las celdas.

Etapa 2: Del PUSH y flujo discreto al Pull y flujo continuo.

El flujo continuo entre los centros de trabajo fue uno de los objetivos más importantes presente en los planes de acción. El alto volumen de trabajo en proceso entre los centros de trabajo producido por medidas de grandes lotes, los extensos tiempos de dirección y otros factores, tanto como un mantenimiento no planificado y una célula no nivelada; impedían a los sistemas de producción conseguir un flujo continuo de ventas. El nivel de inventarios de trabajo en proceso, materiales, y productos terminados generaban una presión importante sobre las finanzas de la compañía, lo que impactaba negativamente en el resultado de la empresa.

El sistema de producción usado era incapaz de soportar la producción sincronizada y el flujo continuo como objetivos dentro de las instalaciones. Por el contrario, no permitía una buena integración entre el sector manufacturero, los proveedores y trabajadores de planta. El sistema dió crecimiento a la célula no nivelada, a la carga de trabajo desbalanceada y a la relación entre proveedores descoordinada, lo que llevaba a la caída en la productividad del trabajo, sobreproducción, problemas de transporte etc. Un círculo vicioso con una lista completa de problemas estaba presente a lo largo de todo el proceso de producción.

En la compañía no había un conjunto de reglas fijas a seguir, ni tampoco indicadores dentro de la industria para utilizar como *benchmark*. El sistema automotor y el Kanban utilizados en las instalaciones de ensamble no eran aplicables, y la industria de calzado, no podía implementarlo más que conceptualmente. El método Kanban fue aplicado en el transporte de material entre las estaciones de trabajo y desde el proceso de marcapasos hasta los supermercados de productos terminados. Al mismo tiempo fueron introducidos los lectores de código de barra, lo que implicó mayor control efectivo en el sistema productivo.

Diseñar e implementar el sistema Kanban significó mucho trabajo y esfuerzo en lo que respecta a la elaboración y definición de conceptos de producción efectiva. Escrutando en detalle el proceso de producción y mejorarlo abarcó establecer tiempos de producción más cortos, planificar el mantenimiento, calcular los tamaños de lote, adquirir nuevo software para soportar todo lo demás y asimilar los nuevos métodos de transporte.

El equipo funcional trabajó cercanamente a la producción planificada y las áreas de la célula a fines de desarrollar un sistema Kanban que pudiera ayudar a mantener los requerimientos específicos de la empresa.

Lotes más cortos y la producción Kanban requieren otros progresos en orden para lograr efectivamente el mantenimiento planificado y la reducción de tiempos. La mejora continua estableció un plan y puso las nuevas tareas en práctica. Las mismas condujeron a una caída sustancial de los inventarios y la relación de trabajo disminuyó de un mes a una semana.

Etapas 3: Cambiando las tareas de gestión de demanda.

A fines de mejorar el sistema de pronóstico y la atención al cliente, se decidió reestructurar el funcionamiento de las áreas involucradas. El proceso de reestructuración implicó en formar un equipo multidisciplinario de consultores de administración y sistemas, quienes luego de una etapa de observación y diagnóstico en el área de producción y marketing, diseñaron un nuevo esquema de gestión de demanda. Como un resultado de los cambios, el tiempo transcurrido entre los órdenes de pedidos y los servicios de entrega al cliente se redujeron de cinco días a dos, lo que implicó una mejora del servicio del 97% en los indicadores de eficiencia en la gestión de pedidos.

y entrega.

Etapa 4: Cambiando el sistema de planeamiento.

La nueva gestión de la demanda con mejores técnicas de pronósticos le permitió a la compañía conocer la demanda de nuevos productos de manera más rápida y segura. Pero a fines de realizar la potencialidad del nuevo sistema de pronósticos, fue necesario reformular los procesos de planificación. El sistema tenía las características típicas de un Push.

La producción fue nivelada, considerando la mezcla promedio de la demanda estilo/color/talla. consecuentemente, en primer término, el nivel de planificación identificó las células del estilo y luego las del color.

12. ACTIVIDAD EN CLASE

The Cups Game.

Esta actividad fue desarrollada por Peter Jackson [36]. Este ilustra las diferencias entre los sistemas de producción Push y Pull. Este también es efectivo al mostrar las ventajas de los pequeños lotes de manufactura. Esta actividad muestra un argumento convincente para la producción JIT y ha convencido a muchos escépticos.

La unidad de productos para el juego de vasos consiste de un sostenedor de cuatro vasos, conteniendo cuatro vasos. Los vasos tienen tapa y pitillos y son marcados con un sticker azul. El juego requiere de 6 participantes mientras que el resto de la clase son solo espectadores. El primer participante es el surtidor y surte toda la materia prima a los centros de trabajo. Los siguientes cuatro participantes representan cada uno un centro de trabajo. En la primera estación los cuatro vasos son ubicados en el sostenedor de vasos, en la siguiente estación, los adhesivos son colocados en los vasos, en la tercera, las tapas son colocadas a los vasos y en la cuarta estación los pitillos son introducidos a los vasos atravesando las tapas. El último participante se encarga de revisar y hacer el control de calidad.

Los estudiantes pueden ver claramente las diferencias entre el sistema push y pull. Se juega normalmente tres iteraciones del procesos cada uno que dura cerca de 15 minutos. El primero es push, donde cada trabajador produce tanto como sea posible y empuja el trabajo a la siguiente estación. En ningún momento, los inventarios empiezan a acumularse, el espacio de la mesa es consumido. La actividad también sirve para introducir un problema de calidad (puntos de color rojo) que a menudo pasan inadvertidos hasta el final de la línea. Cuando el proceso es parado se hacen las medidas de evaluación siguientes: WIP, espacios, tiempos en proceso y reanudación. En la discusión que sigue los primeros estudiantes de la iteración reconocen que el WIP excesivo en algunas estaciones es un problema. Algunos estudiantes sugieren que el embotellamiento en el proceso es la causa de los problemas y sugieren incrementar el número de trabajadores en algunas estaciones de trabajo, agregar más espacio, y realizar un control de calidad en cada estación.

Sin embargo si se indica que el índice de salida actual es adecuado para satisfacer la demanda entonces, los estudiantes reconocerán que éstas sugerencias son soluciones costosas al problema equivocado.

En la siguiente iteración se demuestra un sistema pull. El Kanban (adecuado para cuatro unidades) se define en las tablas usando la tapa para cada estación de trabajo. Los trabajadores son capacitados para trabajar en un nuevo lote solo cuando este Kanban esta vacío. Los estudiantes rápidamente analizan que el índice de salida no es afectado por este cambio. (determinado por la tarea más larga). De hecho, eliminando el caos los trabajadores probablemente trabajen más rápidamente. Las medidas de funcionamiento se mejoran con esta iteración. El WIP y procesos son limitados por el Kanban, el tiempo de proceso es corto. Puesto que WIP se reduce, el sistema pull esta ahorrando dinero.

La tercera iteración es pull con un tamaño de lote de dos. En este punto las compensaciones y las limitaciones asociadas con la reducción del tamaño del lote son discutidos.

13. CONCLUSIONES

A lo largo de este trabajo se tocaron temas que ayudan a entender la definición, clasificación e implementación del sistema Kanban, mostrando la ventajas que tiene, su importancia y la ayuda que puede suministrar a las plantas de producción si quieren mantenerse competitivas en ésta época de globalización.

Reducir costos, mediante técnicas como el mejoramiento continuo, reducción de inventarios, y la mejora en el flujo de materiales con el fin de entregar los productos a tiempo con la calidad que se requiere a un mejor precio es trabajo del Kanban, pero el Kanban no funciona sólo, debe ser utilizado como una herramienta para lograr la competitividad en las empresas, éste implica la implementación de muchos sistemas, debe trabajar en conjunto con otras filosofías administrativas del Just in Time.

Kanban es la solución para muchos problemas, aún así su implementación no es fácil, debe hacerse cuidadosamente realizando cada uno de sus procedimientos, respetando y siendo estricto con sus reglas, se requiere de paciencia, compromiso y dedicación, integrando a todo el personal, no solamente de producción sino también de la administración y en lo posible incluyendo a los proveedores.

Los únicos grupos de importancia estadística para el Kanban son el inventario, el proceso y la estructura del producto. Trabajar a ciertos factores tales como tamaño del lote, tiempo de set-up, pérdidas de rendimiento, flexibilidad de fuerza de trabajo, y grado de personalización para crear un ambiente de fabricación donde el flujo de trabajo sea uniforme y la flexibilidad permita adaptarse a los cambios requeridos en volumen, indican un buen síntoma para mejorar el desempeño.

Como se mencionó antes el sistema Kanban es una herramienta que no trabaja sólo, es necesario e indispensable que los subsistemas cumplan también con ciertas metas para darle un total cumplimiento a los objetivos planteados por el Kanban.

- Control de calidad, en el diseño y desarrollo de un sistema que se adapte a las fluctuaciones de la demanda diaria o mensual, en términos de cantidad y variedad de productos.
- Aseguramiento de la calidad, este componente asegura que cada proceso podrá únicamente fabricar artículos buenos (de calidad) para los procesos siguientes.
- Respeto por el personal, que necesita ser capacitado y entrenado, durante el tiempo que el sistema utilice personas para alcanzar los objetivos, las personas constituyen el activo mas importante de toda la compañía. Los empleados son capacitados para desempeñar un mayor número de operaciones y son capaces de tomar diferentes y mayores responsabilidades y se les paga basándose en la flexibilidad individual, la participación del empleado, el conocimiento, las habilidades, la capacidad de resolver problemas y por la disposición para trabajar en equipos.

Por último, se puede agregar que los sistemas de producción Toyota son aplicados a todo tipo de empresas sin importar su tamaño sólo se requiere una producción en serie o repetitiva que este nivelada y algo muy importante; es la capacitación y el compromiso de todo el personal.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. G. Benito, “La Gestión de Compras y la Organización del Aprovisionamiento en la Industria de Automoción,” *Universidad de Salamanca*.
- [2] V. Tardif and L. Maaseidvaag, “An Adaptive Approach to Controlling Kanban Systems.” [Online]. Available: citeseer.ist.psu.edu/tardif99adaptive.html
- [3] F. Marín and J. Delgado, “Las Técnicas del Justo a Tiempo y su Repercusión en los Sistemas de Producción,” *Economía Industrial*, vol. 1, no. 331, 2000.
- [4] H. E. J., “Justo a Tiempo,” pp. 116–127, 1992.
- [5] A. Krishnamurthy, R. Suri, and M. Vernon, “Push Can Perform Better than Pull for Flexible Manufacturing Systems with Multiple Products,” 2000. [Online]. Available: citeseer.ist.psu.edu/krishnamurthy00push.html
- [6] J. K. Liker and D. Meier, “The Toyota Way Fieldbook,” pp. 94–109, 2006.
- [7] N. Tipi, S. Bennett, and C. Riddalls, “Feedback Control Technique For a Manufacturing System.” [Online]. Available: citeseer.ist.psu.edu/275343.html
- [8] A. K. Schömig and M. Kahnt, “Performance Modelling of Pull Manufacturing Systems with Batch Servers.” [Online]. Available: citeseer.ist.psu.edu/107808.html
- [9] C. Chaouiya and Y. Dallery, “Petri Net Models of Pull Control Systems for Assembly Manufacturing Systems.” [Online]. Available: citeseer.ist.psu.edu/75092.html
- [10] J. K., “The Toyota Way,” pp. 22–26, 2004.
- [11] M. Katsuhiko Takahashi and D. Hirotani, “Comparing CONWIP, Synchronized CONWIP, and Kanban in Complex Supply Chains,” *International Journal of Production Economics*, no. 93-94, pp. 25–40, 2005.
- [12] R. J. Schonberger, “Japanese Production Management: An Evolution With Mixed Success,” *Journal of Operations Management*, no. 25, pp. 403–419, 2007.

- [13] P. Davidsson and F. Wernstedt, "Characterization and Evaluation of Just-in-Time Production and Distribution." [Online]. Available: citeseer.ist.psu.edu/davidsson02characterization.html
- [14] B. M. Lieberman, "Inventory Reduction in the Japanese Automotive Sector, 1965-1991." [Online]. Available: citeseer.ist.psu.edu/348315.html
- [15] S. Wang and B. R. Sarker, "Optimal Batching and Shipment Control in a Single-Stage Supply Chain System." [Online]. Available: citeseer.ist.psu.edu/538654.html
- [16] D. He, A. Babayan, and A. Kusiak, "Scheduling Manufacturing Systems in an Agile Environment." [Online]. Available: citeseer.ist.psu.edu/301928.html
- [17] X. C. Richard J. Boucheire and M. Miyazawa, "Arrival First Queueing Networks with Applications in Kanban Production System," *Performance Evaluation*, no. 51, pp. 83–102, 2003.
- [18] M. Ettl and M. Schwehm, "A Design Methodology for Kanban-Controlled Production Lines Using Queueing Networks and Genetic Algorithms," 1994. [Online]. Available: citeseer.ist.psu.edu/ettl94design.html
- [19] B. Dengiz and C. Alabas, "Simulation Optimization Using Tabu Search." [Online]. Available: citeseer.ist.psu.edu/516178.html
- [20] C. S.M. Moattar Husseini and S. Hosseini, "A Method to Enhance Volume Flexibility in JIT production control," *International Journal of Production Economics*, no. 104, pp. 653–665, 2006.
- [21] A. R. G. and G. J. B., "Analysis of Lean Production System," pp. 226–240, 2002.
- [22] B. Baynat, J. A. Buzacott, and Y. Dallery, "Multi-Product Kanban-Like Control Systems." [Online]. Available: citeseer.ist.psu.edu/533609.html
- [23] A. Krishnamurthy, R. Suri, and M. Vernon, "A New Approach for Analyzing Queueing Models of Material Control Strategies in manufacturing systems." [Online]. Available: citeseer.ist.psu.edu/294997.html
- [24] O. T. Li Zhou, Mohamed M. Naim and D. R. Towill, "Dynamic Performance of a Hybrid Inventory System With a Kanban Policy in Remanufacturing Process," *Omega*, no. 34, pp. 585–598, 2006.
- [25] M. Smitka, "The Decline of the Japanese Automotive Industry: Causes and Implications," 1993. [Online]. Available: citeseer.ist.psu.edu/smitka93decline.html

- [26] E. C. Glauser, “The Toyota Phenomenon,” *The Swiss Deming Institute*.
- [27] H. J. Núñez, “Los Sistemas Just-in-Time/Kanban, un Paradigma Productivo,” *Política y Cultura*, no. 018, pp. 40–60, 2002.
- [28] P. Davidsson, “A multi-Agent System Architecture for Coordination of Just-in-Time Production and distribution,” 2002. [Online]. Available: citeseer.ist.psu.edu/davidsson02multiagent.html
- [29] M. Lieberman and L. Demeester, “Inventory Reduction and Productivity Growth: Evidence from the Japanese Automotive Sector,” 1995. [Online]. Available: citeseer.ist.psu.edu/lieberman95inventory.html
- [30] E. Kim and M. V. Oyen, “Dynamic Scheduling to Minimize Lost Sales Subject to Set-up Costs,” 1998. [Online]. Available: citeseer.ist.psu.edu/kim98dynamic.html
- [31] F. P. Sylvain Landry and S. Fortier, “Anatomy of Kanban: A Case Study,” *Production and Inventory Management Journal*, no. 41, pp. 11–16, 2000.
- [32] M. D. Al-Tahat and A. M. Mukattash, “Desing and Analysis of Production Control Scheme for Kanban-Based JIT Environment,” *Journal of the Franklin Institute*, no. 343, pp. 521–531, 2006.
- [33] “Kanban Scheduling Systems, The Challenge of Simplicity,” *Consultants Engineers Strategists*.
- [34] N. S., “Análisis de la Producción y las Operaciones,” pp. 352–363, 1999.
- [35] V. D. Rocío, “Implementación del Sistema de Producción Kanban en la Empresa HARRY WINSTON,” *Institut Catholique d’Arts et Métiers ICAM*, 2003.
- [36] P. Jackson, “The Cups Game NSF Product Realization Consortium Module Description,” *NY: Cornell University*, 1996.