
INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY

**CAMPUS MONTERREY
DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERÍA**



**TECNOLÓGICO
DE MONTERREY®**

**INCREMENTO DE CAPACIDAD DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN MANTENIENDO
UN NIVEL BAJO DE INVENTARIO CASO PRÁCTICO**

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO
ACADÉMICO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS
ESPECIALIDAD EN SISTEMAS DE CALIDAD Y PRODUCTIVIDAD**

POR:

DANIEL MARTÍNEZ VILLARREAL

MONTERREY, N.L.

DICIEMBRE DE 2006

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY

CAMPUS MONTERREY

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERÍA**

Los miembros del comité de tesis recomendamos que el presente proyecto de tesis presentado por el Ing. Daniel Martínez Villarreal sea aceptado como requisito parcial para obtener el grado académico de:

**Maestro en Ciencias
Especialidad en Sistemas de Calidad y Productividad**

Comité de Tesis:

Dr. Neale R. Smith
Asesor

Dr. Dagoberto Garza Núñez
Sinodal

Dr. José M. Sánchez
Sinodal

Aprobado:

Dr. Francisco Ángel Bello
Director del Programa de Graduados en Ingeniería
Diciembre, 2006

DEDICATORIA

A mi esposa Nancy por toda la paciencia y amor a lo largo de este camino, quién siempre me apoyó para poder culminar con éxito esta maestría.

A mis padres, Guillermo y Maria Elena que me han dado una vida de amor y valores y sobretodo por sus vivos ejemplos de entrega incondicional; por su esfuerzo y dedicación en hacerme un hombre de bien.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Neale R. Smith por su gran apoyo durante todo este tiempo, gracias por brindarme sus conocimientos y guiarme en este proceso de investigación.

INDICE DE CONTENIDO

Índice.....	i
Índice de Tablas.....	iv
Índice de Figuras.....	iv
CAPITULO I: Introducción Planteamiento del Problema.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Objetivo de la Investigación.....	2
1.2.1 Objetivo General.....	2
1.2.2 Objetivos Específicos.....	2
1.3 Justificación de la Investigación.....	2
1.4 Alcance de la Investigación	3
CAPITULO II: Marco Teórico.....	4
2.1 Introducción.....	4
2.2 El rol del inventario.....	4
2.3 Tipos de Inventario	5
2.4 Justificación de Inventario	5
2.5 Principios de Sistemas de Producción.....	6
2.5.1 Ajustes de Producción guían las operaciones de Productos de Bajo y Medio Volumen	6
2.5.2 El inventario es necesario para soportar la producción.....	6
2.5.3 Inventarios grandes implican tiempos largos de Throughput	7
2.5.4 Tiempo throughput es mayor o igual al movimiento acumulativo y el tiempo de proceso de un lote de transferencia.....	7
2.6 Mejorando el Flujo de Producto.....	8
2.6.1 Balanceo de Capacidad	9
2.6.2 Balanceo de línea manual.....	9
2.7 Sistema Push (Empujar) vs. Sistema Pull (Jalar).....	10

2.8	Sistemas Básicos de Pull.....	11
2.9	CONWIP: Una alternativa de Pull con un WIP Constante	12
2.9.1	Programando las tareas en un flujo CONWIP.....	14
2.9.2	Configuraciones de CONWIP	16
2.10	Modelo de Análisis de Valor Medio (Mean Value Analysis MVA).....	18
CAPITULO III: Situación Actual de la Empresa.....		20
3.1	Introducción.....	20
3.2	Sistema de Información actual.....	20
3.3	Proveedores.....	21
3.4	Descripción de Operaciones.....	21
3.5	Indicadores del Sistema Actual.....	22
3.5.1	Cálculo de Tiempos de Proceso.....	22
3.5.2	Medición de Throughput y Nivel de WIP en Proceso	23
3.5.3	Cumplimiento de entregas con el Cliente.....	25
3.5.4	Cumplimiento del Plan de Producción.....	25
3.5.5	Cantidad de Rechazos del Cliente.....	26
3.5.6	Retrabajos Internos.....	26
3.5.7	Tiempos de paro por estación de trabajo debidos a fallas en los equipos.....	27
3.6	Aplicación del Modelo MVA	27
3.6.1	Recolección de Datos.....	28
3.6.2	Desarrollo de hoja de Cálculo e interpretación de resultados.....	29
3.6.3	Generación de propuestas de Mejora. Evaluación de escenarios.....	32
3.6.4	Observaciones.....	36
CAPITULO IV: Implementación de Propuesta de Mejora.....		39
4.1	Introducción.....	39
4.2	Proyectos propuestos para mejorar el desempeño de la línea de ensamble.....	39
4.3	Resultados Observados: Comparativa de Tiempos de proceso actuales, propuestos y reales.....	41
4.4	Throughput y Nivel de WIP en Proceso.....	42
CAPITULO V: Conclusiones.....		47
5.1.	Introducción.....	47
5.2	Aplicabilidad y Observaciones.....	47
5.3	Limitaciones.....	47
5.4	Recomendaciones para la aplicación en la línea de producción.....	48
5.5	Procedimiento para el análisis y la mejora de la productividad	

de una línea de producción, manteniendo el nivel más bajo de inventario..	49
5.6 Investigaciones futuras.....	53
CAPITULO VI: Bibliografía.....	54
ANEXO I: Definiciones.....	56

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1	Descripción de Operaciones.....	22
Tabla 3.2	Tiempos actuales de proceso.....	23
Tabla 3.3	Capacidad máxima por estación.....	23
Tabla 3.4	Throughput y Nivel de WIP en Proceso Actuales.....	24
Tabla 3.5	Cantidad de retrabajos por estación.....	26
Tabla 3.6	Horas de máquina caída por estación.....	27
Tabla 3.7	Mediciones de tiempos actuales de proceso de ensambles.....	29
Tabla 3.8	Cálculo de Valores de Throughput vs WIP Actuales.....	31
Tabla 3.9	Tiempos de proceso de cada estación de escenarios propuestos.....	34
Tabla 3.10	Throughput vs WIP escenarios futuros.....	35
Tabla 4.1	Comparativa de Tiempos de proceso actuales, propuestos y reales.....	42
Tabla 4.2	Capacidad máxima por estación del estado futuro.....	42
Tabla 4.3	Throughput y Nivel de WIP en Proceso estado futuro.....	43
Tabla 4.4	Cálculo de Valores de Throughput vs WIP Reales.....	44
Tabla 4.5	Throughput vs WIP escenarios Actual, Propuesto y Real.....	45
Tabla 5.1	Formato para recolección de datos.....	49
Tabla 5.2	Ejemplo de hoja de cálculo.....	51

INDICE DE FIGURAS

Figura 3.1	Layout actual de la línea de ensamble.....	22
Figura 3.2	Entregas a Tiempo.....	25
Figura 3.3	Cumplimiento al Plan de Producción Actual.....	25
Figura 3.4	Throughput vs. WIP Actual.....	32
Figura 3.5	Throughput vs. WIP escenarios futuros.....	35
Figura 4.1	Layout de la línea de ensamble situación real.....	40
Figura 4.2	Throughput vs. WIP escenarios actual, propuesto y Real.....	45
Figura 5.1	Ejemplo de Gráfica throughput vs. WIP.....	51

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Introducción

Hoy en día la industria en México necesita mejorar su competitividad en la fabricación de productos, años atrás la ventaja competitiva que tenía el país eran sus bajos costos de mano de obra. Al día de hoy podemos decir que ya no estamos tan seguros de esta situación ya que existen compañías que están moviendo sus operaciones hacia países asiáticos, en donde los costos de producción son más bajos y con una calidad competitiva.

En este ambiente tan global, tenemos que ver que nuestro competidor puede estar en cualquier parte del mundo y que cada uno de ellos está haciendo lo posible por obtener más clientes cada día, saben que los clientes están buscando formas de reducir sus costos de operación a través de toda la Cadena de Suministro, así como también reducir sus tiempos de ciclo y mejorar la disponibilidad de los productos.

La intención de esta tesis es definir un procedimiento para el análisis y la mejora de la productividad de una línea de producción, manteniendo el nivel más bajo de inventario.

Este proyecto de tesis está estructurado de la siguiente manera: Capítulo II se indica el planteamiento del problema. La revisión de la literatura de los conceptos de Sistemas de Producción, Sistemas Pull y MVA (Mean Value Analysis) son explicadas a detalle en el Capítulo II. En el Capítulo III se describe la situación actual de la línea de producción bajo análisis. En el Capítulo IV se presenta las propuestas de mejora. Las conclusiones de este trabajo son mostradas en el Capítulo V.

1.2 Objetivo de la Investigación

1.2.1 Objetivo General:

Incrementar la productividad de la línea de producción de 4.2 a 5 ensambles diarios con la misma cantidad de gente o menos si es posible, manteniendo la mínima cantidad de inventario en proceso, apoyándonos en la aplicación del modelo Mean Value Analysis (MVA) para la evaluación de diferentes escenarios.

1.2.2 Objetivos Específicos:

- Incrementar el throughput de la línea de 4.2 a 5 ensambles diarios, manteniendo el menor inventario posible en proceso (WIP).
- Definir un procedimiento para el análisis y la mejora de la productividad de una línea de producción, manteniendo el nivel más bajo de inventario.

1.3 Justificación de la Investigación

La línea de ensamble en cuestión actualmente tiene problemas de entregas tarde al cliente, que está ubicado en Estados Unidos, el cuál esta perdiendo la venta de sus productos debido a la falta de estos ensambles.

Algunas de las estaciones de la línea de ensamble están ocupadas en los 3 turnos, por lo que existe la necesidad de mejorar la productividad y asegurar que se embarquen las piezas a tiempo.

Este proyecto ayudará en la empresa a que la línea de ensamble en cuestión tenga una mejor productividad, menores tiempos de ciclo, así como también menos cantidad de

material en proceso, de manera que pueda cumplir con los requerimientos de su cliente, así como también con los lineamientos de la empresa en cuestión de inventarios.

El desarrollo de la presente investigación servirá como una referencia para las demás líneas de ensamble de la compañía o de otras empresas que requieran de realizar mejoras en su productividad, cuidando sus niveles de inventario de producto en proceso, aplicando el procedimiento general desarrollado en este trabajo de tesis.

1.4 Alcance de la Investigación

El enfoque de este trabajo es el análisis de la situación actual de la línea de ensamble de estaciones sencillas (desde que inicia el proceso de armado, hasta que se envía al área de pintura), la obtención de datos, evaluación de los escenarios propuestos para lograr el objetivo trazado mediante el uso del Modelo Mean Value Analysis (MVA), así como también la implementación de la mejor alternativa, en caso de que el tiempo y el tipo de mejora lo permita.

Los proveedores de componentes tanto internos como externos, no son objeto de estudio de este proyecto de tesis.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1 Introducción

El diseño y operación de sistemas de producción involucra la administración de recursos para cumplir con la demanda del cliente. La administración del sistema requiere de planes de producción detallando como usar los recursos para convertir la materia prima en producto terminado. En adición a empleados, maquinas, herramientas y materiales, los recursos relevantes incluyen servicios, información y procedimiento establecidos. Los artículos físicos usados y producidos por el sistema son referidos como inventario. Los inventarios son creados durante el proceso de producción y mantenidos en la forma de materia prima, partes de componentes, sub ensambles o bien como producto terminado. El alcance del sistema de producción incluye planeación a largo plazo, programación de producción a mediano plazo y control a corto plazo. La adquisición de nueva capacidad y el desarrollo de empleados productivos requiere meses de plantación por adelantado (Askin, 2002).

2.2 El rol del inventario

Los inventarios, son los artículos que son usados para soportar la producción (materia prima y material en proceso), actividades de soporte (mantenimiento, reparación) y servicio al cliente (producto terminado y partes serviciables) (APICS, 2001).

El inventario consiste en el movimiento de los artículos físicos a través del sistema de producción. El inventario se origina con los embarques de materia prima y partes del proveedor y termina con la entrega del producto terminado al cliente.

2.3 Tipos de Inventario

Materia Prima

Recursos que requiere la actividad de producción o procesamiento de la empresa (Nahmias, 1999).

Producto Terminado

Son productos completados que están esperando ser embarcados al cliente (Askin, 2002). Este incluye producto en almacenes o bien en los establecimientos de tiendas (si todavía no pertenece el producto), así como también productos que han salido recientemente de producción y que están esperando en las rampas para ser embarcados.

Material en Proceso (WIP Work-in-Process)

Incluye todas las partes que no están terminadas o productos que han sido liberados a la línea de producción (Hopp & Spearman , 2000). Este incluye los lotes de material y partes compradas desde el tiempo que son liberadas a la planta hasta que están como producto terminado. El WIP debe de estar en la fila esperando la disponibilidad de la siguiente estación de trabajo, para ser cargado o procesado en una máquina o siendo movido entre estaciones de trabajo.

2.4 Justificación de Inventario

Existen varios factores que justifican la existencia de los inventarios (Nahmias, 1999):

- Economías de Escala
- Incertidumbres. La incertidumbre de la demanda externa es la más importante.
- Especulación
- Transporte

-
-
- Logística
 - Costos de Control

2.5 Principios de Sistemas de Producción

2.5.1 Ajustes de Producción guían las operaciones de Productos de Bajo y Medio Volumen

Entre más largo sea el tiempo de ajuste (Set up), más grande tiene que ser la producción del producto para poder hacer que sea costeable (Askin, 2002).

A manera que la corrida de producción se incrementa, pasa lo mismo con el nivel de inventario promedio, requerimiento de espacio para almacenar el producto. De igual manera el tiempo entre el producir y usar las partes e incrementa. Esto impacta negativamente la calidad porque las partes pueden ser dañadas o bien se pueden hacer obsoletas antes de que se usen.

2.5.2 El inventario es necesario para soportar la producción

En años recientes ha sido muy popular escuchar la meta de *cero inventario*. De cualquier manera algún inventario, en forma de materiales o producto terminado, es necesario para cumplir con las demandas de los clientes tanto internos como externos. Aún así, es económicamente práctico mantener algún nivel de inventario de Work-In-Process (WIP) para facilitar la programación de la producción. La teoría de colas describe la relación entre los niveles de inventario del WIP y las tasas de producción de las líneas. La variabilidad en los tiempos de proceso requiere que aún inventario este disponible para reducir el desaprovechamiento de las maquinas y trabajadores.(Es cuando está disponible pero debe de permanecer ocioso debido a que no hay trabajos por realizar).

2.5.3 Inventarios grandes implican tiempos largos de Throughput

Tiempo de Throughput se refiere al tiempo de cuando una pieza entra al sistema hasta que éste sale (Askin, 2002). La ley de Little relaciona el promedio del throughput time (T) al nivel promedio de inventario (I) y la tasa de producción (X) de algún proceso estacionario. Un proceso o sistema es estacionario si la probabilidad de estar en un estado en particular es independiente del tiempo. El status de recursos y tamaños de colas caracterizan al estado del sistema. Los procesos estacionarios, no incrementan, reducen, ciclo o varía constantemente en el tiempo. La ley establece que $I=XT$. La relación se mantiene a todos los niveles. Nosotros podemos referir a una estación de trabajo individual, a un departamento, a una planta de manufactura o a la cadena de suministro entera. El resultado todavía aplicará tanto como el nivel de inventario y el tiempo de throughput refieran al mismo sistema. Una baja utilización de los niveles, si nosotros liberamos más lotes de material (inventario) a la planta, es probable que veamos un incremento en la tasa de producción con solamente incrementos menores en los lead times.

De cualquier manera cuando se la tasa de producción alcance la capacidad de una o más estaciones de trabajo, las liberaciones adicionales de material, solamente resultará un incremento de los lead times y un congestionamiento en la planta.

2.5.4 Tiempo throughput es mayor o igual al movimiento acumulativo y el tiempo de proceso de un lote de transferencia.

El lote de transferencia es la cantidad de partes transportadas juntas a la siguiente estación (Askin, 2002). Si esta cantidad es más grande que una unidad, entonces cada unidad en el lote de transferencia espera mientras las otras están siendo procesadas. El resultado es obvio pero significativo. Porque cada unidad debe de pasar a través del sistema de producción, la suma de los tiempos en cada estación o en tránsito entre las estaciones es el tiempo mínimo de throughput. Si queremos reducir el tiempo de

throughput, nosotros debemos hacer algo de lo siguiente: Eliminar pasos innecesarios del proceso, reducir tiempos de espera de carga una vez de que este haya llegado a la estación de trabajo, reducir el tiempo que la carga espera para ser movida, correr los procesos a la tasa de producción más alta, agilizar el movimiento de materiales, reducir el número de unidades en el lote de transferencia (Askin, 2002).

2.6 Mejorando el Flujo de Producto

El flujo del producto puede ser definido como el logro progresivo de tareas a través de la cadena de valor de tal manera que el producto avanza del diseño al despegue, de la orden a la entrega, y de la materia prima a las manos del cliente sin detenerse, sin desperdicio o contraflujos (Askin, 2002).

La manufactura esbelta depende de mantener un flujo constante de lotes pequeños de producto a través de la planta. Para que los sistemas esbeltos respondan rápidamente a la demanda de los clientes sin incurrir en costos excesivos de inventario, la respuesta de los proveedores internos para reponer las partes debe de ser muy rápido. La organización en el piso de la planta y la localización de los recursos pueden tener un impacto significativo en el tiempo de proceso. Como regla general, pequeñas líneas de flujo balanceado son más eficientes que las grandes plantas orientadas al proceso (Askin, 2002).

El flujo continuo significa asegurar que la próxima operación o celda posterior tenga (Askin, 2002):

- Solo lo que necesita
- Justo cuando lo necesita
- La cantidad exacta de lo que necesita

2.6.1 Balanceo de Capacidad

El balanceo de línea, es el procedimiento de dividir tareas igualmente entre los empleados o estaciones de trabajo (Schonberger, 1997).

El problema de balanceos de líneas es complicado en la mayoría de las industrias debido a una combinación de características, las cuales generalmente definen un peor escenario (Milas, 1990):

- Hay casi siempre un número infinito de modelos (las opciones de automóviles son un buen ejemplo)
- Los modelos no son generalmente ensamblados en una secuencia predecible. En algunas ocasiones las unidades parcialmente completadas son almacenadas y después liberadas a producción para ser completadas.
- La dependencia de recursos y requerimientos del programa de producción, algún trabajo puede ser llevado a cabo fuera de la línea de ensamble.

El balanceo también es definido como el ajuste de la tasa de producción de las celdas de trabajo de manera que sea igual al consumo de la línea de producto final (Hunter, 2004). En una fábrica tradicional, el balanceo involucra movimientos de gente y de tareas en toda la línea de ensamble hasta que todos los trabajadores tengan asignada la misma cantidad de trabajo.

El proceso de balanceo es dinámico, es una actividad continua. Tradicionalmente, una línea debe de balancearse cada vez que cambie la tasa de la demanda (Hunter, 2004).

2.6.2 Balanceo de línea manual

El proceso de línea manual, reducido a su más simple forma, requiere de los siguientes pasos (Milas, 1990):

Parámetros básicos de ensamble. Debe ser conocida la siguiente información:

- Completa descripción del método de cada elemento de la actividad.
- Un tiempo estándar real de cada actividad
- Un programa de producción y de volumen de requerimientos
- Eficiencia de la línea (medida o estimada)
- Un diagrama de proceso de las actividades.

Velocidad de la línea de ensamble(Tiempo de Ciclo). El tiempo de ciclo o velocidad de la línea, en unidades por hora, es el volumen requerido de producción dividido por la eficiencia de la línea (Milas, 1990).

Determine el número mínimo teórico de estaciones de trabajo. El número mínimo teórico de estaciones de trabajo requerido para desempeñar el trabajo es la suma de los tiempos estándar dividido entre la velocidad de la línea.

2.7 Sistema Push (Empujar) vs. Sistema Pull (Jalar)

Lo que distingue a un sistema Pull de un Sistema Push es el mecanismo que dispara los movimientos de trabajo en el sistema. Fundamentalmente, el disparador que libera las ordenes de trabajo en el sistema Push viene de “afuera”, mientras que en el sistema Pull viene desde adentro (Hopp & Spearman, 2000). Más formalmente se definen como sigue:

Un programa del sistema Push, el disparo de las ordenes está basado en la demanda, mientras que las autorizaciones en el sistema Pull están basadas en el estatus del sistema. Otra distinción importante es que los sistemas Push son inherentemente Make-to-Order, mientras que los sistemas Pull son Make to Stock (Hopp & Spearman, 2000).

Los sistemas Push como MRP controlan el throughput pero permiten WIP y variaciones en el tiempo de ciclo. Los sistemas Pull Kanban y CONWIP controlan el WIP en n nivel necesario para producir un throughput promedio(Askin, 2002). Los sistemas Push confían en la veracidad de los pronósticos de la demanda y los datos de ejecución en piso para coordinar las acciones de la celda de trabajo. Los sistemas Pull simplifican la coordinación a través de un enlace físico. Nosotros debemos de suavizar la producción en MRP forzando esto en el Plan Maestro de Producción, variando los niveles de WIP.

2.8 Sistemas Básicos de Pull

Kanban. La política del kanban fue desarrollada por el Dr. Taichi Ohno , gerente de la compañía de Toyota. El principio es limitar el nivel de inventario en cada estación del proceso, definiendo los controles entre cada par de estaciones consecutivas (Gaury ,2001).

CONWIP: Viene de las palabras “En proceso constante” El objetivo es combinar los niveles bajos de inventario del Kanban, con las tasas altas de salida de producto terminado del Push (Gaury, 2001). Para lograr este objetivo, CONWIP usa un sistema Push , que tiene solamente un número limitado de partes permitidas dentro del sistema de producción :La materia prima debe de ser liberada al interior del sistema solamente cuando la última estación lo solicita (Principio Pull). Esta limitación es implementada a través de un control simple que enlace la última estación con la primera. Dentro del sistema, cada estación produce tan rápido como pueda (Principio Push). Actualmente, el sistema CONWIP puede ser visto como un sistema kanban con un lazo simple que controle la línea de producción completa.

2.9 CONWIP: Una alternativa de Pull con un WIP Constante

El sistema de Control de Producción CONWIP – Acrónimo de CONstant Work in Process (Spearman et. al, 1990) es un sistema pull que aparece compartir los beneficios del Kanban pero aplicables a una gran variedad de situaciones.

La simplicidad de los sistemas Kanban radica de la confiabilidad de un nivel de inventario objetivo(Askin,2002). Si nosotros consideramos que el inventario de salida como producto en proceso, podemos ver el sistema kanban manteniendo un nivel constante de inventario del total del WIP para cada tipo de parte. Supongamos que agregamos tipos de partes en artículo simple y agregamos todas las áreas de producción en una planta. Las partes siendo producidas, y aquellas en el inventario de salida cuentan como un tipo de parte específica. Controlaremos los niveles de producción e inventario liberando trabajos a la planta para mantener el nivel de N trabajos en el sistema todo el tiempo. Nosotros llamamos esto Sistema de constante WIP.

En la forma que se describe el sistema CONWIP, este asume dos cosas importantes (Hopp & Spearman, 2000):

1. Que la línea de producción consiste de una sola ruta , por la cuál pasan todos los productos.
2. Que los productos son idénticos, de manera que el WIP sea medido en unidades (ejemplo, número de piezas que hay en la línea).

Para operar un sistema CONWIP, nosotros mantenemos una lista de partes que necesitan ser producidas, ya sea cuando su nivel de inventario es bajo o bien cuando anticipamos un incremento en la demanda. Tan pronto como un lote es completado y sale del sistema, el siguiente lote que está en la lista, para el cual ya se ha verificado que el material esté disponible, es liberada a producción. Para la comunicación de la autorización de la

producción, solamente tenemos que tener un mecanismo para enlazar el uso de las partes con el liberado de las ordenes. Cuando un producto sale de la planta, un mensaje es enviado para liberar la siguiente orden a producción. Note que es relativamente fácil de monitorear el WIP en el piso de producción. En CONWIP, no hay necesidad de preocuparse acerca de la distribución interna del trabajo en el piso de producción. Solamente se mantiene una cuenta del número de trabajos en proceso.

El sistema CONWIP, tiene las siguientes ventajas sobre el sistema Kanban (Dar-el. et al, 1999): (1) Es más robusto en cuanto a los cambios en los ambientes de producción y más fáciles de pronosticar; (2) son más fáciles de manejar en las introducciones de los nuevos productos o cambios en la mezcla de productos.;(3) permiten una mezcla de grande de productos; (4) Permite mayor salida del producto, aún y con el mismo número de contenedores.

Spearman describe las ventajas de la estrategia de control CONWIP. El control de producción CONWIP ofrece las ventajas de simplificar la operación y simplificar el análisis (Askin, 2002). Los sistemas de producción Kanban, también controlan el WIP, pero las capacidades limitadas de inventario en cada estación hace más difícil estimar la tasa de producción del sistema. Los sistemas kanban también requiere mantener un juego de tarjetas e inventario para cada número de parte producido por el sistema. Esto es simple pero no eficiente cuando la demanda de una parte individual es altamente variable en el tiempo. Este requerimiento es eliminado con CONWIP. Este sistema puede adaptar inmediata y automáticamente los cambios en las mezclas de los productos. Si las partes no son necesitadas en un futuro cercano, entonces esta pieza se irá a la lista y los lotes no serán producidos.

Por otro lado, el sistema CONWIP requiere un mecanismo para mantener la prioridad en la lista de los trabajos que están pendientes por liberar. En suma, CONWIP requiere amplio espacio de almacenaje en cada estación de trabajo. Debemos ser capaces de acomodar todos los N trabajos en cada estación de trabajo desde que no controlamos la localización del WIP dentro del centro de trabajo. En teoría, cada estación debe tener

espacio para almacenar todos los trabajos en proceso. En la práctica, estos trabajos estarán distribuidos de manera predecible con niveles grandes de WIP en las estaciones que son cuellos de botella. El WIP tenderá naturalmente a estar enfrente de los cuellos de botella.

El truco para implementar esta estrategia de CONWIP, es encontrar el nivel de inventario que produce la tasa de demanda promedio (Askin, 2002). Manteniendo un nivel constante de WIP, la tasa de producción por tiempo y procesamiento de lote permanecerá relativamente constante. Ambos, la media y la varianza del tiempo de ciclo usualmente será menor con una estrategia de CONWIP que en un sistema con variación en los niveles de inventario.

Una de las desventajas del sistema CONWIP es que los inventarios del sistema no son controlados individualmente: por ejemplo altos inventarios pueden aparecer frente a las máquinas más lentas. Similarmente, los inventarios pueden alcanzar altos niveles cuando una máquina se descompone. CONWIP garantiza un inventario constante a en todo el sistema.

Los problemas que involucra la implementación del CONWIP son (Herer and Masin, 1997):

- ¿Cuántas tarjetas deben de ser utilizadas en el sistema?
- ¿ Cómo pronosticar el comportamiento del sistema?
- ¿ Como programar las tareas?

2.9.1 Programando las tareas en un flujo CONWIP

La programación en un sistema CONWIP es diferente a la programación de otros sistemas. Mientras que el CONWIP usualmente es presentado como un sistema Pull , los productos son internamente “empujados” una vez que han entrado al sistema. Esto

significa que el bloqueo de la primera estación solamente puede ocurrir en un sistema CONWIP, en contraste con los otros sistemas Pull como Kanban. La programación de CONWIP también difiere del sistema puro de Push , dado que la capacidad de la línea completa es limitada.

Cuando se está programando un sistema CONWIP, debe de ser hecha una importante decisión, dependiendo de donde sean procesados los productos (lista de backlog) están disponibles al inicio de la línea. Esto es equivalente a no permitir la entrada dinámica de las ordenes durante el periodo de programación . El primer caso es un típico sistema CONWIP integrado dentro de una estructura jerárquica. En tal situación, la lista de backlog está compuesta por la salida del MPS (Master Production Scheduling), de tal manera que los productos de esa lista son completamente conocidos.

Si la lista de backlog está disponible, la programación estática puede ser completada, la principal decisión de la programación estática en el sistema CONWIP es determinar el orden en que cada producto va ser liberado dentro del sistema (Farmian et al. 1998). Una vez que la orden está fija, la entrada de fechas del producto son dadas por la disponibilidad de las tarjetas al inicio de la línea.

Hay una ventaja adicional cuando se está programando un sistema CONWIP estático: si todos los productos que están en la lista del backlog comparten el mismo cuello de botella, entonces la programación en el sistema se reduce a la programación de una sola máquina.(Spearman et al. 1989), el cual reduce sustancialmente la complejidad del sistema.

En el sistema CONWIP pueden ser implementados dos esquemas de control de entradas (Duenyas, 1994) . La primera es la política de entrada single-chain closed- loop (S-CLOSED). En este esquema hay solamente un tipo de tarjeta que debe ser colocada a todos los productos. Entonces la liberación de los productos es autorizada cuando un producto es tomado del inventario de producto terminado, pero el nuevo trabajo liberado

no es necesariamente igual al que acaba de salir. Los productos son liberados de acuerdo a una secuencia predeterminada de trabajos que satisfaga la mezcla de productos.

El segundo esquema consiste en colocar tarjetas separadas para cada tipo de producto. Después un producto es liberado cuando otro trabajo del mismo tipo es tomado del inventario de producto terminado. Este control de entradas es llamado M-CLOSED (Duenyas, 1994).

Cuando se programa un sistema CONWIP debe de ser hecha una importante distinción dependiendo si el sistema está integrado dentro de un ambiente make-to-stock o make-to-order. Note que esto es diferente a la programación dinámica, aún y que el sistema CONWIP make-to-order en el cual la lista de backlog no está disponible hace un poco de sentido. Por el contrario, en un ambiente make-to-stock, puede estar disponible o no. Si la lista de backlog, está basada por ejemplo en la salida del MPS, entonces la lista de backlog está disponible. Cuando no se utiliza ninguna herramienta para pronosticar la demanda del cliente, entonces la lista de backlog no está disponible.

Una vez que un producto ha entrado en un sistema CONWIP, la decisión debe de ser tomada en cada máquina respecto a la secuencia en que deben de ser procesados (regla de despacho). Originalmente, los inventarios amortiguadores del CONWIP están regulados por la disciplina FCFS (First come first served)

2.9.2 Configuraciones de CONWIP

CONWIP Básico

El ambiente de manufactura más simple desde el punto de vista de administración es el de la ruta simple, o línea de producción de una sola familia. Si las siguientes condiciones son mantenidas, entonces este modelo es cercano a la realidad, y el sistema básico de CONWIP (donde las liberaciones de producto son coordinadas para mantener un nivel

de inventario constante) trabajarán bien en el módulo de SFC (Shop Floor Control) (Hopp & Spearman, 2000):

1. Hay rutas constantes de manera que todas las partes pasan por la misma secuencia de máquinas. Actualmente, si algunas partes llevan pocas operaciones extras, esto no afectará sustancialmente el tiempo de flujo, debemos ser capaces de ignorar esto y seguir utilizando el sistema CONWIP. De cualquier manera si las rutas del producto son condicionales (el producto debe ser enviado a un proveedor de subcontrato) entonces no será capaz de tratar a la línea como una simple ruta y requerirá más que un CONWIP básico.
2. Los tiempos de proceso son similares de tal manera que todos los productos requieren aproximadamente la misma cantidad de tiempo en cada operación. Esto implica que el cuello de botella debe de estar estable. No se requiere que el cuello de botella esté definido.
3. No hay set ups largos, el tiempo a través de la línea de un producto individual no es fuertemente afectado por la secuencia de los productos.
4. No hay ensambles, podemos ver la progresión de los productos como flujo lineal.

Aún y cuando el sistema es simple hay algunos problemas de SFC (Shop Floor Control) que tenemos que resolver (Hopp & Spearman, 2000):

1. Backlog de trabajo
2. Disciplina de la línea
3. Conteo de tarjetas
4. Déficit de tarjetas
5. Trabajo adelantado

2.10 Modelo de Análisis de Valor Medio (Mean Value Analysis MVA)

Para analizar líneas CONWIP y hacer comparaciones con los sistemas Push, es muy útil tener un modelo cuantitativo de sistema cerrado (CONWIP), similar al modelo de la ecuación de Kingman que se desarrolló para los sistemas abiertos. Para el caso en el cual todas las estaciones consisten en máquinas sencillas, nosotros podemos hacer esto usando la técnica conocida como Análisis de Valor Medio (MVA Mean Value Analysis). Esta herramienta la cual se utiliza para desarrollar las curvas de throughput y tiempo de ciclo para los peores casos prácticos, es un procedimiento iterativo que desarrolla la medida de la línea con un nivel de WIP w en términos de nivel de WIP $w-1$ (Hopp & Spearman, 2000).

Usando las siguientes fórmulas podemos describir la línea CONWIP.

$t_e(j)$ = Tiempo de proceso de cada estación de trabajo

w = Cantidad de ensambles en proceso

c_e = Coeficiente de Variación del tiempo efectivo de proceso

$CT_j(w)$ = Tiempo de ciclo de la estación j

$CT(w)$ = Sumatoria de los tiempos de ciclo de todas las estaciones del sistema

$TH(w)$ = Throughput de la línea (Cantidad de producto que sale del sistema en un periodo de tiempo determinado).

$WIP_j(w)$ = Nivel promedio de inventario en la estación j .

Dejando $WIP_j(0)=0$ y $TH(0)=0$, el algoritmo MVA procesa el tiempo de ciclo, throughput y los niveles de WIP estación por estación en función del número de productos en la línea CONWIP usando las siguientes fórmulas:

$$CT_j(w) = \frac{t_e^2(j) [c_e^2(j) - 1] TH(w-1) + [WIP_j(w-1) + 1] t_e(j)}{2}$$
$$CT(w) = \sum_{j=1}^n CT_j(w)$$

$$TH(w) = \frac{w}{CT(w)}$$

$$WIP_j(w) = TH(w) CT_j(w)$$

Estas formulas son fácilmente implementadas en una hoja de cálculo y pueden ser utilizadas para generar curvas de $TH(w)$ y $CT(w)$ para líneas CONWIP para los casos mejores, peores y prácticos. Buzacott y Shanthinkumar (1993) los han probado en simulaciones de varios ajustes de parámetros de sistemas y encontraron que la aproximación es razonablemente acertada para sistemas con valores de $c_e^2(j)$ entre 0.5 y 2.

CAPITULO III: SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA

3.1 Introducción

El objetivo de este capítulo es hacer un análisis de la situación actual de la empresa, de acuerdo a los datos necesarios para aplicar las fórmulas del Mean Value Analysis (MVA), para después generar algunas alternativas enfocadas a cumplir con los requerimientos del cliente de esta línea de ensamble.

La línea de ensamble pertenece a una empresa de giro metal mecánico, los productos son exportados hacia Estados Unidos para su ensamble final y que después sea entregado al cliente o distribuidores. En esta línea se fabrica un solo modelo de ensamble pero con 10 diferentes configuraciones, los cuales varían de acuerdo a las necesidades del cliente final. El 80 % de la demanda está concentrada en 2 ensambles.

El proceso principal es la soldadura manual, durante el proceso se aplica una operación de maquinado al ensamble, la cuál se lleva a cabo en la misma línea de producción. La materia prima principal son las placas de acero, las cuales son procesadas en un departamento interno y transformadas en componentes para luego sean entregados a la línea de ensamble.

3.2 Sistema de Información actual

El cliente envía (vía electrónica) en base semanal, al área de Requerimientos, la información de los pedidos en firme, así como también los pronósticos para los siguientes 12 meses. Esta información es procesada en el sistema actual de la empresa, y cada viernes se hace la corrida del MRP, de este proceso se obtiene la información para los proveedores, tanto internos como externos para la planeación de sus entregas, de acuerdo a los tiempos de entrega planeados.

En este proceso, también se generan cédulas de producción para la fabricación de los ensambles en la línea de acuerdo a la tasa de producción diaria que se estableció, a manera de que pueda cumplir con la demanda del cliente, así como también para crear un inventario de producto terminado. Esta información es bajada a la línea de ensamble y es administrada por el supervisor de la línea en los diferentes centros de trabajo.

El sistema de producción utilizado actualmente es Push, en el cual se va produciendo para cubrir la venta que está en el periodo firme de 10 días y para mantener un cierto nivel de inventario planeado.

3.3 Proveedores

Los proveedores de la línea se pueden dividir de dos maneras:

Interno: Es el principal proveedor de componentes a la línea. Provee cerca del 98% del material. Este proveedor es el encargado de recibir las placas de acero, procesarlas (cortar, maquinar, doblar, etc.) y entregarlas a la línea.

Externos: Solamente es el 2% de los componentes que llegan como comprados terminados, los cuales llegan del proveedor externo al almacén central, para después ser entregados directamente a la línea de ensamble en el momento en que sean requeridos por su controlador de materiales.

3.4 Descripción de Operaciones

La línea de ensamble consta de siete estaciones de trabajo sencillas, las cuales están ordenadas de forma lineal, como se muestra en la Figura 3.1. El área que ocupa en la planta esta línea es un espacio de 12mts x 60mts, esto es un área de 720 metros cuadrados. La descripción de cada una de las operaciones se muestran en la Tabla 3.1.

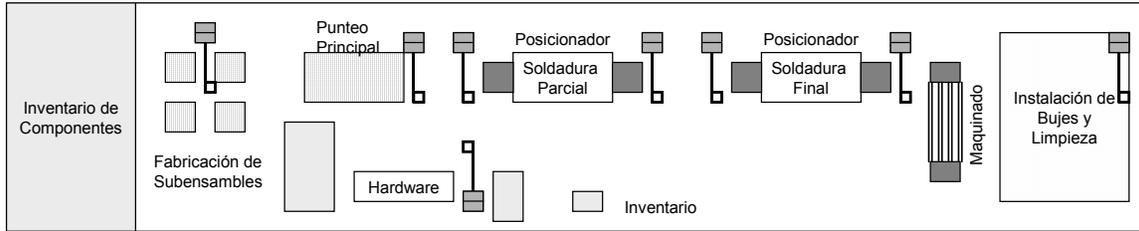


Figura 3.1 Layout actual de la línea de ensamble

Tabla 3.1 Descripción de Operaciones

Nombre de la Operación	Descripción de Operación
Subensambles	Fabricación de subensambles a usar en la operación de punteo Principal. En esta operación se utilizan el 30% de los componentes del producto. El material lo recibe del almacén de la línea.
Punteo Principal:	Es el armado principal de las piezas, en esta operación se utiliza el 70% de los componentes del producto (incluye los subensambles)
Hardware	En esta se instala el 28% de los componentes restantes del producto.
Soldadura Parcial	Se aplica un 50% del avance de la soldadura total del producto. Posiciones especiales.
Soldadura Final	Se aplica un 50% del avance de la soldadura total del producto.
Maquinado	Se maquinan 4 diámetros del ensamble.
Instalación de Bujes y limpieza	Se limpia el ensamble y se coloca placa de identificación antes de enviar a pintura. Se elabora checklist de inspección.

3.5 Indicadores del Sistema Actual

3.5.1 Cálculo de Tiempos de proceso

Los tiempos de proceso (en horas) de cada estación, son mostradas en la Tabla 3.2, estos datos fueron obtenidos de un muestreo de 30 ensambles, en estos datos se consideran ensambles de alta y baja demanda, del total de ensambles de la línea 10, los de alta

demanda se concentran en solamente 2 y estos representan aproximadamente el 92% de las ventas. Los ensambles de baja demanda consumen aproximadamente entre un 25% y 30% más de tiempo para su fabricación.

Tabla 3.2 Tiempos actuales de proceso

	Subensambles	Punteo Principal	Hardware	Soldadura Parcial	Soldadura Final	Maquinado	Instalación de Bujes y Limpieza	Tiempo Total (Horas)
Actual	2.8	3.6	3.3	5.1	4.8	1.8	2.2	23.7

La capacidad de cada estación de trabajo es mostrada en la Tabla 3.3, el cuello de botella de este sistema es soldadura parcial, la cuál está trabajando los tres turnos. La determinación de la capacidad se calculó dividiendo las 22 horas planeadas del día entre las horas que se tarda el ensamble en cada operación.

Las estaciones que trabajan dos turnos son las siguientes: subensambles, maquinado e instalación de bujes y limpieza.

Tabla 3.3 Capacidad máxima por estación

	Subensambles	Punteo Principal	Hardware	Soldadura Parcial	Soldadura Final	Maquinado	Instalación de Bujes y Limpieza
Capacidad Actual	7.8	6.0	6.8	4.3	4.6	12.2	9.8

Nota: Para obtener la capacidad de cada estación por día se considera que la jornada laboral consta de 22 horas, ya que se descuentan tiempos de comida.

3.5.2 Medición de Throughput y Nivel de WIP en Proceso

La cantidad de ensambles diarios que entraron y salieron del sistema, así como también la cantidad de ensambles que se mantuvieron en proceso se muestran en la Tabla 3.4. Estos datos fueron obtenidos en un muestreo de 31 días de operación, en el cual el supervisor del área monitoreaba esta información. En esta medición no se hace distinción entre ensambles de alta y baja demanda.

Los resultados arrojados fueron los siguientes:

- Promedio de ensamblajes diarios que salieron del sistema fue 4.19 (Throughput)
- Promedio de ensamblajes en proceso (WIP) fueron 13.81.

Tabla 3.4 Throughput y Nivel de WIP en Proceso Actuales

Día	Ensamblajes que entran al sistema	Ensamblajes que salen del sistema	Cantidad de ensamblajes en proceso
1	1	5	16
2	4	4	16
3	4	3	17
4	3	2	18
5	2	2	18
6	5	0	23
7	2	2	23
8	6	5	24
9	3	4	23
10	2	5	20
11	3	4	19
12	6	6	19
13	0	4	15
14	4	5	14
15	4	7	11
16	4	6	9
17	4	5	8
18	4	5	7
19	4	0	11
20	4	3	12
21	5	6	11
22	4	8	7
23	6	4	9
24	4	4	9
25	5	5	9
26	4	4	9
27	6	5	10
28	3	6	7
29	4	1	10
30	5	5	10
31	6	5	11
	Promedio	4.19	13.81

3.5.3 Cumplimiento de entregas con el Cliente.

Este es un indicador de servicio muy importante para las líneas de ensamble, estas son medidas como la cantidad de líneas de embarque que salen a destiempo de la planta y que hacen que las plantas de nuestros clientes detengan su producción de ensambles. La meta de entregas a tiempo es arriba del 98%. Ver figura 3.2

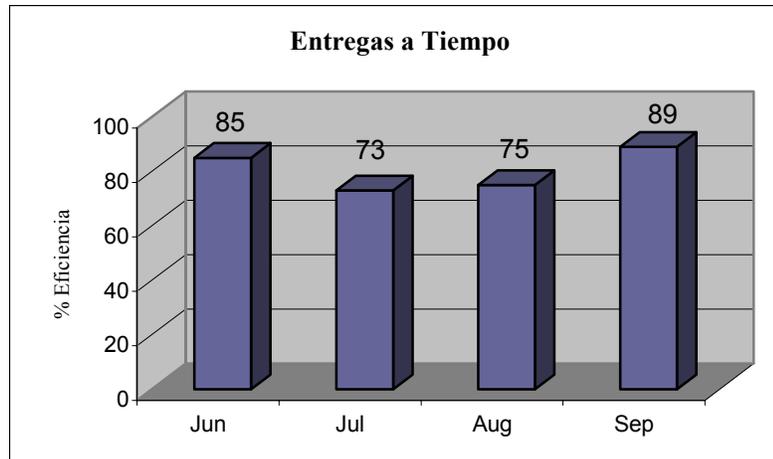


Figura 3.2 Entregas a Tiempo

3.5.4 Cumplimiento del Plan de Producción

Este es medido como un porcentaje de la cantidad de piezas fabricadas contra las planeadas al principio del mes. Ver figura 3.3

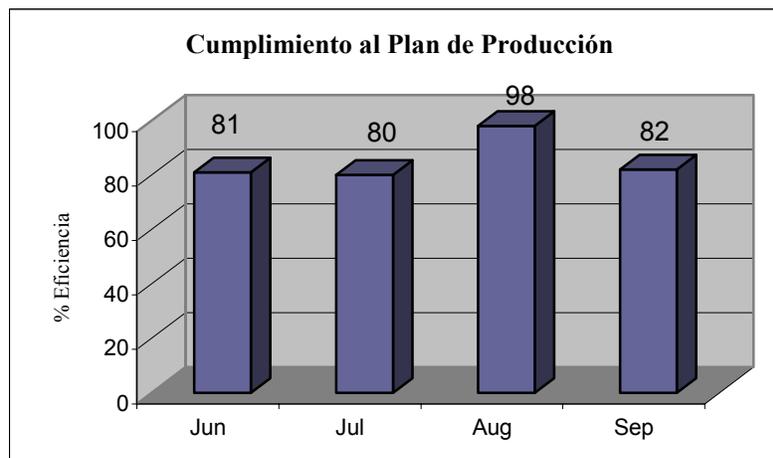


Figura 3.3 Cumplimiento al Plan de Producción Actual

3.5.5 Cantidad de Rechazos del Cliente.

En lo que va del presente año el cliente no ha rechazado ningún ensamble, esta línea cuenta con buenos registros de calidad. Esto es medido en cantidad de dólares rechazados contra dólares vendidos. Esta relación al día de hoy está en \$ 0.0 usd.

3.5.6 Retrabajos Internos

Los retrabajos son una de las causas de la afectación del flujo de la línea. Las estaciones con índices más altos son: Aplicación de soldadura parcial y final. Los datos de cada estación de trabajo correspondientes a los meses de Junio a Septiembre del 2006 se muestran en la Tabla 3.5. Entre los problemas más comunes en estas estaciones de trabajo son debidos a la mala aplicación de la soldadura, lo cual va enfocado a la habilidad de los operadores.

Tabla 3.5 Cantidad de retrabajos por estación

Operación	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Total
Subensambles	3		2	2	7
Punteo Principal	2				2
Hardware					0
Soldadura Parcial	5	15	7	6	33
Soldadura Final	20	10	6	4	40
Maquinado			3	2	5
Instalación de Bujes y Limpieza					0
TOTAL	30	25	18	14	87

3.5.7 Tiempos de paro por estación de trabajo debidos a fallas en los equipos

El tiempo disponible promedio de las estaciones de trabajo es de 98.7%.

Los tiempos de paro de cada estación de trabajo están reflejados en la Tabla 3.6. Los datos corresponden a los meses de Julio, Agosto y Septiembre del presente año, que representan 1755 horas disponibles de cada estación de trabajo. La estación de soldadura final fue la más afectada, los principales problemas registrados son debido al funcionamiento del cabezal y fuente de poder de una máquina soldadora, así como también fallas en el control del posicionador.

Tabla 3.6 Horas de máquina caída por estación

Estación	Horas Disponibles	Horas Caidas	% Tiempo Disponible	Cantidad de paros	Tiempo de paro promedio (Horas)
Subensambles	1755	2.0	99.88%	1	2.0
Punteo Principal	1755	2.0	99.89%	3	0.7
Hardware	1755	1.2	99.93%	2	0.6
Soldadura Parcial	1755	36.3	97.93%	8	4.5
Soldadura Final	1755	103.4	94.11%	26	4
Maquinado	1755	22.2	98.73%	8	2.8
Instalación de Bujes y Limpieza	1755	0.0	100.00%	0	0.0

3.6 Aplicación del Modelo MVA

En esta sección se presenta los pasos que se siguieron para la aplicación de este modelo a la línea de ensamble, así como también los resultados que arrojaron este estudio y sus recomendaciones.

3.6.1. Recolección de Datos

Los datos necesarios para la aplicación de este modelo son los siguientes:

- Cantidades de estaciones de trabajo
- Tiempos de proceso de cada estación de trabajo.
- Ensamblados que salieron del sistema por día de trabajo (Throughput)
- Cantidad de ensamblados en WIP.

Los datos de las estaciones de trabajo y los tiempos de proceso sirven para el desarrollo de la hoja de cálculo, en tanto que el throughput y la cantidad de ensamblados en el WIP sirven para comparar contra los datos obtenidos de las fórmulas.

Los tiempos de proceso fueron recolectados de una muestra de 30 ensamblados, entre los cuales se encuentran de alta y baja demanda, cabe mencionar que en algunos de ellos los tiempos de proceso varían debido a las características del producto. Los tiempos recolectados son mostrados en la Tabla 3.7. Las cantidades de material en proceso (WIP) son mostradas en la Tabla 3.2.

Tabla 3.7 Mediciones de tiempos actuales de proceso de ensambles

Ensamble	Subensambles	Punteo Principal	Hardware	Soldadura Parcial	Soldadura Final	Maquinado	Instalación de Bujes y Limpieza
1	2.5	3.8	2.8	5.0	5.6	1.4	2.6
2	2.6	4.2	3.2	4.9	5.6	1.3	2.0
3	2.3	4.0	3.5	4.5	5.6	1.5	1.6
4	2	4.5	3.0	4.8	5.4	1.7	2.2
5	2.8	3.7	3.0	5.3	4.1	1.8	2.6
6	2.8	3.9	3.6	4.8	4.5	1.6	2.2
7	2.7	3.7	3.4	5.0	5.0	1.6	2.4
8	3	3.6	3.2	5.2	5.3	1.8	2.0
9	2.8	4.0	3.0	4.7	4.5	1.8	2.3
10	3.2	3.8	3.1	5.2	5.0	1.9	2.6
11	2.6	4.0	2.9	5.6	5.6	1.8	1.9
12	2.5	3.8	3.0	5.6	5.0	1.9	2.6
13	3	4.0	3.6	5.1	4.5	2.0	2.6
14	3	3.6	3.2	5.6	5.2	2.0	2.3
15	3.3	3.0	3.1	5.0	4.5	1.8	2.4
16	3.3	3.8	3.6	4.5	4.1	1.7	2.0
17	3.2	3.0	3.3	4.3	5.6	2.0	2.6
18	3.1	3.0	3.1	5.6	5.2	2.1	2.1
19	3	3.6	3.0	5.6	4.5	2.0	2.4
20	3	3.8	2.9	4.5	4.5	1.8	2.1
21	2.5	3.2	3.5	5.3	4.8	1.7	2.0
22	2.5	3.2	3.0	4.9	4.5	2.0	2.0
23	2.8	3.4	3.4	5.1	5.1	2.0	2.7
24	2.8	3.7	3.5	5.5	4.1	1.5	2.3
25	2.7	3.9	2.9	4.9	4.8	1.6	1.9
26	2.6	4.0	3.6	5.4	5.0	1.8	1.9
27	2.5	4.0	3.5	4.9	4.8	1.6	2.5
28	2.3	3.8	3.6	4.8	4.5	1.5	2.0
29	3	3.6	3.1	5.2	4.9	1.8	2.0
30	2.6	3.8	3.2	5.0	4.5	1.9	2.3
Promedio	2.8	3.6	3.3	5.1	4.8	1.8	2.2

3.6.2 Desarrollo de hoja de cálculo e interpretación de resultados

Una vez que ya se tiene los tiempos de proceso de cada estación de trabajo, se procede al desarrollo de la hoja de cálculo, mediante la aplicación de las siguientes fórmulas:

CT_j (w)= Tiempo de ciclo de la estación j

$$CT_j(w) = \frac{t_e^2(j) [c_e^2(j) - 1] TH(w-1) + [WIP_j(w-1) + 1] t_e(j)}{2}$$

CT (w)= Sumatoria de los tiempos de ciclo de todas las estaciones del sistema

$$CT(w) = \sum_{J=1}^n CT_j(w)$$

TH (w)= Throughput de la línea (Cantidad de producto que sale del sistema en un periodo de tiempo determinado).

$$TH(w) = \frac{w}{CT(w)}$$

WIP_j (w)= Nivel promedio de inventario en la estación j.

$$WIP_j(w) = TH(w) CT_j(w)$$

Tabla 3.8 Cálculo de Valores de Throughput vs WIP Actuales

	Subs	Punt	HW	S. Par	S. Fin	Maq	B & Limp												
Tiempo Ciclo	2.83	3.64	3.25	5.10	4.80	1.80	2.24												
Ce value	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55												
	CT							WIP											Throughput por día
	Tiempo de Ciclo de cada estación							Inventario en cada estación											
w	1	2	3	4	5	6	7	CT	1	2	3	4	5	6	7	TH			
0									0	0	0	0	0	0	0	0	0.000		
1	2.83	3.64	3.25	5.10	4.80	1.80	2.24	23.66	0.120	0.154	0.137	0.216	0.203	0.076	0.095	0.0423	0.930		
2	3.05	4.00	3.54	5.82	5.43	1.89	2.38	26.11	0.234	0.307	0.271	0.445	0.416	0.145	0.182	0.0766	1.685		
3	3.28	4.40	3.85	6.68	6.18	1.97	2.51	28.88	0.340	0.457	0.400	0.694	0.642	0.205	0.261	0.1039	2.286		
4	3.50	4.82	4.17	7.70	7.05	2.05	2.64	31.93	0.439	0.604	0.522	0.964	0.883	0.257	0.331	0.1253	2.756		
5	3.72	5.26	4.48	8.88	8.03	2.12	2.76	35.26	0.528	0.746	0.636	1.259	1.139	0.301	0.392	0.1418	3.119		
6	3.93	5.70	4.79	10.24	9.13	2.18	2.87	38.83	0.607	0.881	0.741	1.581	1.410	0.337	0.443	0.1545	3.399		
7	4.12	6.13	5.09	11.76	10.33	2.23	2.96	42.62	0.676	1.007	0.836	1.932	1.696	0.367	0.487	0.1642	3.613		
8	4.28	6.55	5.36	13.46	11.62	2.27	3.04	46.59	0.736	1.124	0.920	2.312	1.995	0.390	0.522	0.1717	3.777		
9	4.43	6.94	5.61	15.33	13.00	2.31	3.11	50.73	0.786	1.231	0.995	2.720	2.306	0.410	0.552	0.1774	3.903		
10	4.56	7.30	5.83	17.36	14.44	2.34	3.17	55.00	0.829	1.327	1.060	3.157	2.626	0.425	0.576	0.1818	4.000		
11	4.67	7.63	6.03	19.55	15.94	2.36	3.21	59.39	0.865	1.413	1.116	3.621	2.953	0.437	0.595	0.1852	4.075		
12	4.76	7.93	6.19	21.89	17.49	2.38	3.25	63.88	0.894	1.489	1.164	4.111	3.285	0.447	0.610	0.1878	4.133		
13	4.84	8.19	6.34	24.36	19.06	2.39	3.28	68.46	0.918	1.556	1.204	4.627	3.619	0.454	0.622	0.1899	4.178		
14	4.90	8.43	6.46	26.97	20.64	2.40	3.30	73.11	0.938	1.614	1.238	5.165	3.953	0.460	0.632	0.1915	4.213		
15	4.95	8.63	6.57	29.71	22.24	2.41	3.32	77.82	0.954	1.663	1.266	5.726	4.286	0.465	0.640	0.1928	4.241		
16	4.99	8.80	6.65	32.55	23.83	2.42	3.34	82.58	0.967	1.706	1.289	6.307	4.616	0.469	0.646	0.1937	4.262		
17	5.03	8.95	6.73	35.51	25.40	2.42	3.35	87.39	0.978	1.742	1.308	6.908	4.941	0.472	0.652	0.1945	4.280		
18	5.05	9.08	6.79	38.56	26.96	2.43	3.36	92.23	0.986	1.772	1.324	7.527	5.261	0.474	0.656	0.1952	4.294		
19	5.08	9.19	6.84	41.72	28.48	2.43	3.37	97.10	0.993	1.798	1.338	8.163	5.574	0.476	0.659	0.1957	4.305		
20	5.09	9.28	6.88	44.95	29.98	2.44	3.37	102.00	0.999	1.820	1.348	8.815	5.879	0.478	0.661	0.1961	4.314		
21	5.11	9.36	6.91	48.28	31.44	2.44	3.38	106.91	1.004	1.838	1.357	9.483	6.176	0.479	0.664	0.1964	4.321		
22	5.12	9.42	6.94	51.68	32.87	2.44	3.38	111.85	1.007	1.853	1.365	10.165	6.464	0.480	0.665	0.1967	4.327		
23	5.13	9.48	6.96	55.16	34.25	2.44	3.39	116.80	1.010	1.866	1.371	10.861	6.744	0.481	0.667	0.1969	4.332		
24	5.14	9.52	6.98	58.71	35.59	2.44	3.39	121.77	1.013	1.877	1.376	11.571	7.014	0.481	0.668	0.1971	4.336		
25	5.15	9.56	6.99	62.32	36.89	2.44	3.39	126.75	1.015	1.886	1.380	12.293	7.276	0.482	0.669	0.1972	4.339		
26	5.15	9.59	7.01	66.00	38.14	2.44	3.39	131.73	1.017	1.893	1.383	13.027	7.527	0.483	0.670	0.1974	4.342		

Los datos obtenidos están mostrados en la Tabla 3.8; los cuales son los siguientes:

- Cantidad de Throughput (por día)
- Cantidad de Inventario de cada estación de trabajo
- Tiempos de ciclo por estación de trabajo

Estos datos son obtenidos para cada nivel de WIP deseado; la forma de interpretar los resultados de la tabla es por ejemplo, que si mantenemos 10 ensamblados en WIP, estaremos teniendo un throughput de 4 ensamblados diarios. En la Figura 3.4 se puede observar más claramente la relación que existe entre el WIP y throughput conforme cambian los valores de WIP.

Considerando el área que ocupa esta línea de ensamble, la capacidad máxima de almacenaje de ensamblados en proceso es de aproximadamente 25, pero representa un riesgo para la gente que labora en esta línea debido al amontonamiento. Si mantenemos

los tiempos de proceso promedio actuales , considerando que la capacidad máxima de almacenaje de 25 , solamente podemos tener un throughput de 4.3 ensambles diarios en base a los resultados de las fórmulas.

En este caso los valores de c_e se fueron estimado en base a las pruebas , hasta que los valores de TH por día (cantidad de piezas que salen del sistema por día) fueran similares o cercanos a los valores de la toma de datos en piso (13. 8 cucharones en WIP y 4.19 de throughput). Estos valores fueron oscilando desde 0.2 hasta 2. Buzacott y Shanthinkumar (1993) los han probado en simulaciones de varios ajustes de parámetros de sistemas y encontraron que la aproximación es razonablemente acertada para sistemas con valores de $c_e^2(j)$ entre 0.5 y 2 (Hopp & Spearman, 2000).

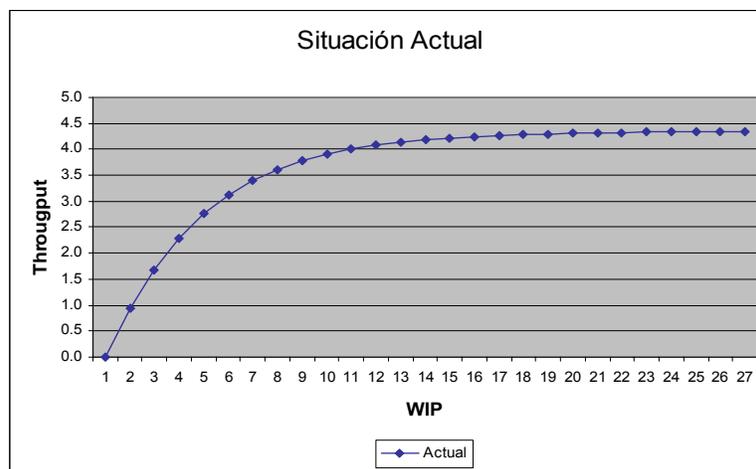


Figura 3.4 Throughput vs. WIP Actual

3.6.3 Generación de propuestas de Mejora. Evaluación de escenarios.

Se procedió a evaluar diversos escenarios buscando el objetivo de producir 5 ensambles diarios con la menor cantidad de material en proceso. Los escenarios mostrados a continuación, fueron evaluados y comparados contra la situación actual. Cabe mencionar que el proceso consta de 7 procesos o estaciones de trabajo, mas sin embargo las pruebas se realizaron considerando cambios en las estaciones que fueran más factibles de

balancear debido a los tipos de proceso. Esta evaluación se llevó a cabo tomando en cuenta la participación del personal de procesos de la línea, así como también de operadores.

Las estaciones de trabajo que se consideraron para la evaluación de las mejoras son las siguientes:

- Punteo Principal
- Hardware
- Soldadura Parcial
- Soldadura Final

Descripción de los escenarios:

Escenario Actual. Situación actual del proceso.

Escenario #1. Consiste en balancear las 4 estaciones de trabajo, sin llevar a cabo mejoras en la reducción de tiempos.

Escenario #2. Reducir los tiempos promedio en las estaciones de Soldadura Parcial (de 5.10 a 4.1 horas), así como también en la estación de soldadura final (de 4.8 a 4.1 horas). Resultando una reducción total en el proceso de 1.7 horas. Las estaciones de soldadura parcial y final se fusionan y pasan a ser una sola estación de soldadura final, el ensamble no tiene que pasar por las dos estaciones de trabajo.

Escenario #3. Reducción de tiempos en las 4 estaciones y balanceo de las mismas. Resultando una reducción total de 1.6 horas en relación con la situación actual.

Los tiempos de los diferentes escenarios están especificados en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9 Tiempos de proceso de cada estación de escenarios propuestos

Escenario	Descripción	Punteo Principal	Hardware	Soldadura Parcial	Soldadura Final	Tiempo Total (Horas)
	Actual	3.64	3.25	5.10	4.80	16.79
#1	Balanceo a 4.2 hrs en 4 estaciones	4.20	4.20	4.20	4.20	16.80
#2	Red. Tiempos en las estaciones de soldadura Parcial y Final. Fusión de estaciones	3.64	3.25	4.1(*)	4.1(*)	15.09
#3	Red. Tiempos y Balanceo en las 4 estaciones	3.80	3.80	3.80	3.80	15.20

(*) Las estaciones de soldadura final y parcial, se fusionan y se convierten en estación de soldadura final, es decir se consideran como una sola estación de trabajo, debido a que realizan la misma operación. Cada una de ellas termina su ensamble al 100%; El ensamble no tiene que pasar por ambas estaciones como se hacía anteriormente.

Los datos del throughput por día que resultan de las pruebas para los tres escenarios propuestos son mostrados en la Tabla 3.10, las respectivas gráficas se muestran en la Figura 3.5.

Tabla 3.10 Throughput vs WIP escenarios futuros

WIP	Actual	Escenario #1	Escenario #2	Escenario #3
0	0.000	0.000	0.000	0.000
1	0.930	0.929	1.215	0.997
2	1.685	1.688	2.179	1.814
3	2.285	2.298	2.926	2.474
4	2.755	2.782	3.498	3.001
5	3.119	3.165	3.934	3.422
6	3.399	3.467	4.265	3.758
7	3.613	3.708	4.518	4.027
8	3.777	3.901	4.713	4.244
9	3.903	4.057	4.865	4.422
10	4.000	4.184	4.983	4.568
11	4.075	4.289	5.077	4.689
12	4.133	4.377	5.152	4.791
13	4.178	4.452	5.211	4.878
14	4.214	4.515	5.259	4.952
15	4.241	4.569	5.297	5.015
16	4.263	4.616	5.328	5.071
17	4.281	4.658	5.353	5.119
18	4.295	4.694	5.374	5.162
19	4.306	4.726	5.390	5.200
20	4.315	4.755	5.403	5.234
21	4.323	4.781	5.414	5.264
22	4.329	4.804	5.422	5.291
23	4.333	4.825	5.429	5.316
24	4.338	4.844	5.434	5.338
25	4.341	4.861	5.437	5.359
26	4.344	4.877	5.440	5.377

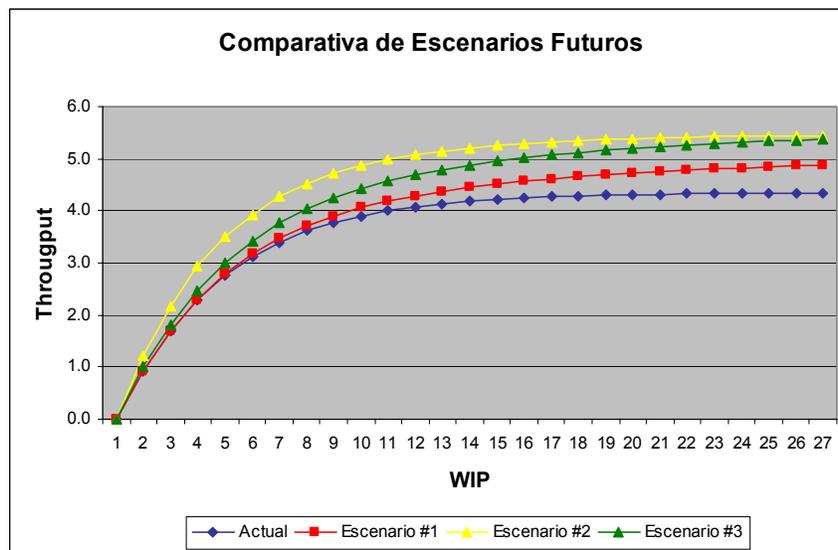


Figura 3.5 Throughput vs. WIP escenarios futuros

3.6.4 Observaciones

Entre las operaciones que eran más factibles de balancear debido al tipo de proceso, así como también se consideró que en dichas estaciones existe el cuello de botella de la línea de producción, se tomaron en cuenta diferentes escenarios, a continuación se presentan los motivos de su evaluación, así como también las razones del porqué son o no son factibles algunos de ellos:

Escenario #1.

Consiste en: Balancear las 4 estaciones de trabajo, sin llevar a cabo mejoras en la reducción de tiempos.

Razón de evaluar este escenario: Evaluar el impacto del balanceo de operaciones contra la situación actual (línea no balanceada)

Resultados: Indica que debemos de mantener más de 26 ensambles en proceso para cumplir con el objetivo de este proyecto. Ya no se procedió con el llenado de la hoja de cálculo, debido a que la línea solamente tiene capacidad para almacenar 25 ensambles en proceso.

Este escenario presenta mejores resultados que la situación actual.

Decisión: No es una buena alternativa debido a que para producir los 5 ensambles diarios y cumplir con el objetivo trazado, se requieren tener más de 25 ensambles en proceso, y la capacidad máxima de almacenaje de la línea es de 25.

Escenario #2.

Consiste en: Reducir los tiempos promedio en las estaciones de Soldadura Parcial (de 5.10 a 4.1 horas), así como también en la estación de soldadura final (de 4.8 a 4.1 horas). Resultando una reducción total en el proceso de 1.7 horas. Las estaciones de soldadura parcial y final se fusionan y pasan a ser una sola estación de soldadura final, el ensamble no tiene que pasar por las dos estaciones de trabajo.

Razón de evaluar este escenario: Estas estaciones son el cuello de botella de la línea de producción y los cambios o mejoras que se pudieran hacer entre estas dos operaciones son muy factibles.

Otra de las razones es de comparar los resultados contra una línea balanceada.

Resultados: Indica que debemos de mantener 11 ensambles en proceso para cumplir con el objetivo de este proyecto.

Decisión: Es el mejor escenario, y las propuestas de mejora son factibles.

Escenario #3.

Consiste en: Reducción de tiempos en las 4 estaciones y balanceo de las mismas. Resultando una reducción total de 1.6 horas en relación con la situación actual.

Razón de evaluar este escenario: Una de estas cuatro estaciones son el cuello de botella de la línea de producción. Evaluar los resultados de la reducción de tiempos y el balanceo al mismo tiempo.

Resultados: Indica que debemos de mantener 15 ensambles en proceso para cumplir con el objetivo de este proyecto.

Decisión: Esta alternativa que presenta buenos resultados, más sin embargo, su implementación no es muy factible ya que las estaciones de punteo e instalación de hardware, tienen ciertas restricciones para aplicar algunas soldaduras en sus celdas debido principalmente a que estas dos estaciones no cuentan con un posicionador, que permita dar giros a la pieza y poder alcanzar una posición adecuada a fin de poder aplicar las soldaduras correctamente.

En la estación de punteo, la opción de instalar un posicionador es nula ya que es un aditamento especial que tiene que estar anclado al piso y mantener una nivelación, se pueden ocasionar problemas de calidad.

En base a los resultados observados en el modelo, el mejor escenario para cumplir con el objetivo de conseguir fabricar los 5 ensambles diarios con el menor inventario en proceso posible, es el escenario #2.

CAPITULO IV: IMPLEMENTACION DE PROPUESTAS DE MEJORA

4.1 Introducción

En esta sección se presentarán las propuestas de mejora, en base a las observaciones y datos obtenidos, así como también los pasos sugeridos para su implementación y su medición de desempeño.

4.2 Proyectos propuestos para mejorar el desempeño de la línea de ensamble son:

1. Reducir los tiempos en las estaciones de Soldadura Parcial (de 5.10 a 4.2 horas), así como también en la estación de soldadura final (de 4.8 a 4 Horas). Resultando una reducción total en el proceso de 1.7 horas. Las estaciones de soldadura parcial y final se fusionan y pasan a ser una sola estación de soldadura final, el ensamble no tiene que pasar por las dos estaciones de trabajo.

En este proceso se cambió la forma operar de estas dos estaciones, anteriormente cada estación (Soldadura Parcial y Soldadura Final) soldaban el 50% del ensamble, en la situación propuesta, cada estación tiene que completar el ensamble al 100%, estos cambios fueron posibles sin afectar la calidad de los ensambles, en lo que a distorsión de las piezas se refiere debido a la aplicación de calor en una sola operación, así como también en la factibilidad de la aplicación de algunos pasos de soldadura debido a ciertas posiciones requeridas del ensamble, de la habilidad de los operadores y el diseño de los aditamentos para sujetar los ensambles durante su operación.

En el momento en que las estaciones de soldadura parcial y final fabrican el ensamble completo, es decir, que el ensamble ya no tiene que pasar por las dos estaciones, estas se convierten en estaciones de soldadura final. Esta representación se muestra en la Figura 4.1.

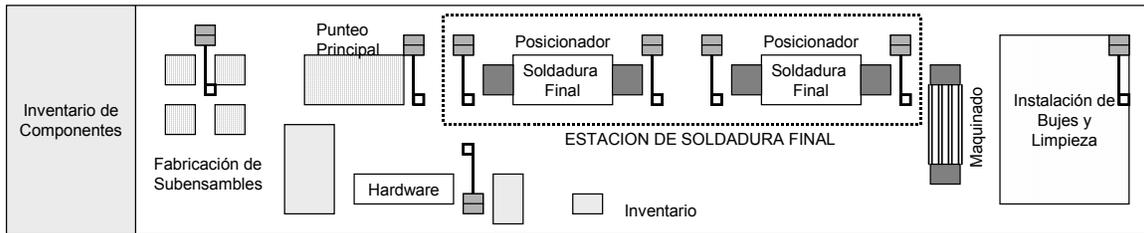


Figura 4.1 Layout de la línea situación real

Entre los beneficios de este cambio están:

- Evitar tiempo de set up entre estas estaciones (30 minutos). Se disminuyen riesgos de seguridad en el área debido a la menor cantidad de set ups.
- Disminuye la probabilidad de retrabajos debido a que cada operador tiene que terminar su pieza y liberarla a la siguiente estación, que es maquinado. Algunas veces existen indisciplinas de que el ensamble se libera a la otra estación con problemas de calidad debidas a la mala aplicación de la soldadura. Hay mejor rastreabilidad la calidad de las piezas debido a que una sola persona lleva a cabo todo el trabajo. Él es responsable de la pieza al 100%.

2. Mejorar programa de producción de la línea de ensamble a fin de mantener cantidad de inventario de ensambles constante y eliminar sobreproducción. Se recomienda utilizar los algunos conceptos básicos del sistema Pull CONWIP (Constant Work in Process).

Pasos sugeridos para programar la línea manteniendo un nivel de WIP constante.

1. Encontrar el nivel de inventario que produce la tasa de demanda promedio (Askin, 2002). Manteniendo un nivel constante de WIP, la tasa de producción por tiempo y procesamiento de lote permanecerá relativamente constante. En este caso, se recomiendan tener 11 ensambles en proceso, de acuerdo con el escenario propuesto #2.

2. Mantener una lista de partes que necesitan ser producidas, ya sea cuando su nivel de inventario es bajo o bien cuando anticipamos un incremento en la demanda (Hopp & Spearman, 2000). Tan pronto como una pieza es completada y sale del sistema, la siguiente pieza que está en la lista, para el cual ya se ha verificado que el material esté disponible, es liberada a producción. En CONWIP, no hay necesidad de preocuparse acerca de la distribución interna del trabajo en el piso de producción. Solamente se mantiene una cuenta del número de trabajos en proceso.

Se recomienda establecer un pizarrón en la línea de ensamble en donde el programador de producción, el controlador de materiales y el supervisor del área revisen en base diaria y actualicen el tablero con la información de piezas que se tienen que fabricar en el día, en ese momento el programador entregue las cédulas que deben de iniciar su fabricación.

4.3 Resultados Observados: Comparativa de Tiempos de proceso actuales, propuestos y reales.

Comparativa de Tiempos de proceso actuales, propuestos y reales.

Los tiempos de proceso que se están presentando en piso, son comparados contra la situación inicial, así como también contra la situación propuesta. Los datos son mostrados en la tabla 4.1.

Las estaciones de Punteo Principal, Hardware, Maquinado e Instalación de bujes y Limpieza, sufrieron variaciones mínimas hacia arriba en los tiempos de proceso, entre un 3 y 5%, cabe mencionar que estas estaciones no sufrieron modificaciones en el proceso, ni en los herramientas, así como tampoco se hicieron cambios con los operadores, esta variación es debida fundamentalmente a la mezcla de los productos que se fabricaron durante el periodo de tiempo, ya que algunos de los productos de baja demanda llevan más tiempo de fabricación.

Tabla 4.1 Comparativa de Tiempos de proceso actuales, propuestos y reales.

	Sub ensambles	Punteo Principal	Hardware	Soldadura Parcial	Soldadura Final	Maquinado	Instalación de Bujes y Limpieza
Actual	2.8	3.6	3.3	5.1	4.8	1.8	2.2
Esc 2	2.8	3.6	3.3	-	4.1(*)	1.8	2.2
Real	2.8	3.7	3.4	-	4.2(*)	1.9	2.3

(*) En el escenario #2 y en la situación real de la línea, las estaciones de soldadura final y parcial, se fusionan y se convierten en estación de soldadura final, es decir se consideran como una sola estación de trabajo, debido a que realizan la misma operación. Cada una de ellas termina su ensamble al 100%; El ensamble no tiene que pasar por ambas estaciones como se hacía anteriormente.

Las capacidades de cada estación de trabajo son mostradas en la Tabla 4.2, en esta se observa que todas las estaciones son capaces de producir más de 5 ensambles, y el sistema en sí puede producir máximo 5.2 ensambles por día.

Tabla 4.2 Capacidad máxima por estación del estado futuro

	Subensambles	Punteo Principal	Hardware	Soldadura Final	Maquinado	Instalación de Bujes y Limpieza
Capacidad diaria (piezas)	7.9	6.0	6.5	5.2	11.5	9.7

Nota: Para obtener la capacidad de cada estación por día se considera que la jornada laboral consta de 22 horas, ya que se descuentan tiempos de comida.

4.4 Throughput y Nivel de WIP en Proceso

La cantidad de ensambles diarios que entraron al sistema (Operación de punteo) y los que salieron del sistema (operación de instalación de bujes y limpieza), así como también la

cantidad de ensamblajes que se mantuvieron en proceso fueron recolectados en una muestra de 15 días de producción. Los datos se muestran en la Tabla 4.3.

El promedio de ensamblajes diarios que salieron del sistema fue 3.67 (Throughput) y la cantidad de ensamblajes en proceso (WIP) fueron 7.20.

Tabla 4.3 Throughput y Nivel de WIP en Proceso estado futuro

Día	Ensamblajes que entran al sistema	Ensamblajes que salen del sistema	Cantidad de ensamblajes en proceso
1	3	4	8
2	5	4	9
3	2	4	7
4	5	5	7
5	3	3	7
6	3	2	8
7	3	5	6
8	1	3	4
9	3	2	5
10	5	1	9
11	3	6	6
12	4	5	5
13	7	3	9
14	4	5	8
15	5	3	10
	Promedio	3.67	7.20

Los datos de throughput y WIP con los datos nuevos del sistema son mostrados en la Tabla 4.4. Los valores de c_e permanecen sin cambios.

Tomando los datos del promedio de ensambles que salieron del sistema (throughput) 3.67 y los ensambles que se mantuvieron en proceso cada día de producción (WIP) 7.20 de los datos recolectados en la Tabla 4.3, procedemos a hacer la comparativa contra la Tabla 4.4, la cuál indica que si se mantienen 7 ensambles en proceso, el throughput de la línea es de 4.479 ensambles por día.

Si los tiempos de proceso de los ensambles no se mejoran, el número de ensambles recomendados que se tienen que mantener el proceso para cumplir con el objetivo es de 11.

Tabla 4.4 Cálculo de Valores de Throughput vs WIP Reales

	Subs	Punt	HW	Soldad.	Maq	B & Limp									
Tiempo Ciclo	2.79	3.65	3.38	4.20	1.92	2.27									
Ce value	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55									
	CT	Tiempos de ciclo de cada estación					CT	WIP	Inventario en cada estación						TH
w	1	2	3	4	5	6	CT	1	2	3	4	5	6	TH	Throughput por día
0								0	0	0	0	0	0	0	0.000
1	2.79	3.65	3.38	4.20	1.92	2.27	18.21	0.153	0.200	0.186	0.231	0.105	0.125	0.0549	1.208
2	3.06	4.13	3.79	4.83	2.05	2.45	20.31	0.301	0.406	0.373	0.476	0.202	0.242	0.0984	2.166
3	3.36	4.68	4.25	5.59	2.18	2.64	22.70	0.444	0.618	0.562	0.739	0.288	0.349	0.1322	2.908
4	3.66	5.29	4.75	6.49	2.30	2.83	25.33	0.579	0.836	0.750	1.025	0.364	0.446	0.1579	3.475
5	3.97	5.97	5.29	7.53	2.42	3.00	28.17	0.704	1.059	0.938	1.337	0.429	0.532	0.1775	3.905
6	4.27	6.69	5.84	8.72	2.51	3.16	31.20	0.821	1.287	1.124	1.678	0.484	0.608	0.1923	4.231
7	4.55	7.45	6.41	10.06	2.60	3.30	34.38	0.926	1.517	1.306	2.049	0.530	0.673	0.2036	4.479
8	4.81	8.24	6.98	11.55	2.68	3.43	37.70	1.022	1.749	1.482	2.452	0.568	0.728	0.2122	4.669
9	5.06	9.05	7.54	13.19	2.74	3.54	41.12	1.107	1.981	1.651	2.887	0.599	0.775	0.2189	4.816
10	5.28	9.86	8.09	14.98	2.79	3.64	44.63	1.182	2.210	1.812	3.357	0.625	0.815	0.2241	4.929
11	5.47	10.67	8.61	16.92	2.83	3.72	48.23	1.248	2.435	1.964	3.859	0.646	0.848	0.2281	5.018
12	5.64	11.48	9.11	19.01	2.87	3.78	51.89	1.305	2.654	2.107	4.395	0.663	0.875	0.2313	5.088
13	5.79	12.26	9.58	21.24	2.90	3.84	55.61	1.354	2.867	2.240	4.964	0.677	0.898	0.2338	5.143
14	5.92	13.03	10.02	23.61	2.92	3.89	59.39	1.397	3.071	2.362	5.566	0.688	0.917	0.2357	5.186
15	6.04	13.76	10.42	26.13	2.94	3.93	63.22	1.432	3.266	2.473	6.200	0.697	0.932	0.2373	5.220
16	6.13	14.47	10.79	28.78	2.95	3.96	67.09	1.463	3.451	2.574	6.864	0.704	0.944	0.2385	5.247
17	6.21	15.14	11.13	31.56	2.97	3.98	70.99	1.488	3.625	2.666	7.558	0.710	0.954	0.2395	5.268
18	6.28	15.77	11.44	34.47	2.98	4.01	74.93	1.509	3.788	2.747	8.280	0.715	0.962	0.2402	5.285
19	6.34	16.36	11.71	37.50	2.98	4.02	78.91	1.526	3.939	2.819	9.029	0.718	0.969	0.2408	5.297
20	6.38	16.91	11.95	40.64	2.99	4.04	82.91	1.540	4.079	2.883	9.804	0.721	0.974	0.2412	5.307
21	6.42	17.42	12.16	43.89	2.99	4.05	86.93	1.551	4.207	2.938	10.603	0.723	0.978	0.2416	5.314
22	6.45	17.88	12.35	47.25	3.00	4.05	90.98	1.560	4.325	2.986	11.424	0.725	0.980	0.2418	5.320
23	6.48	18.31	12.51	50.69	3.00	4.06	95.05	1.567	4.431	3.027	12.267	0.726	0.983	0.2420	5.323
24	6.49	18.70	12.65	54.23	3.00	4.07	99.14	1.572	4.527	3.061	13.129	0.727	0.984	0.2421	5.326
25	6.51	19.05	12.76	57.85	3.00	4.07	103.24	1.576	4.612	3.091	14.008	0.728	0.985	0.2421	5.327
26	6.52	19.36	12.86	61.55	3.01	4.07	107.36	1.579	4.688	3.115	14.904	0.728	0.986	0.2422	5.328

En la Tabla 4.5 se muestra una comparativa de los datos de throughput iniciales, los datos propuestos (mejor alternativa encontrada) y la situación real, la gráfica correspondiente a estos datos se muestra en la Figura 4.2.

Tabla 4.5 Throughput vs WIP escenarios Actual, Propuesto y Real

WIP	Actual	Escenario #2	Situación real
0	0.000	0.000	0.000
1	0.930	1.215	1.208
2	1.685	2.179	2.166
3	2.285	2.926	2.908
4	2.755	3.498	3.475
5	3.119	3.934	3.905
6	3.399	4.265	4.231
7	3.613	4.518	4.479
8	3.777	4.713	4.669
9	3.903	4.865	4.816
10	4.000	4.983	4.929
11	4.075	5.077	5.018
12	4.133	5.152	5.088
13	4.178	5.211	5.143
14	4.214	5.259	5.186
15	4.241	5.297	5.220
16	4.263	5.328	5.247
17	4.281	5.353	5.268
18	4.295	5.374	5.285
19	4.306	5.390	5.297
20	4.315	5.403	5.307
21	4.323	5.414	5.314
22	4.329	5.422	5.320
23	4.333	5.429	5.323
24	4.338	5.434	5.326
25	4.341	5.437	5.327
26	4.344	5.440	5.328

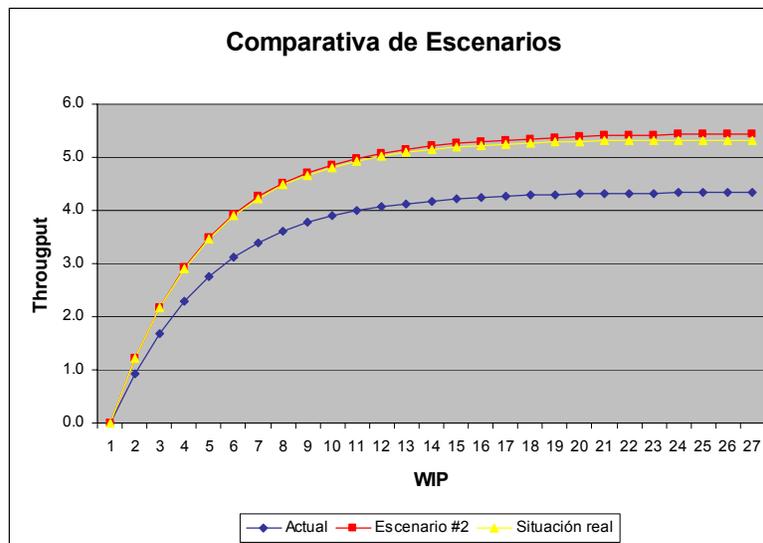


Figura 4.2 Throughput vs. WIP escenarios actual, propuesto y Real

Estas comparativas son llevadas a cabo entre el escenario propuesto y la situación real, debido a que hubo algunas variaciones en los tiempos de los procesos en base a lo planeado.

CAPITULO V: CONCLUSIONES

5.1. Introducción

El objetivo de este capítulo es analizar los resultados obtenidos de la aplicación de este modelo en la línea de ensamble, ya que así como brinda ciertos beneficios, se requiere de ciertas condiciones y requisitos para su buena aplicación. Se incluyen comentarios acerca de la aplicabilidad de este modelo, limitaciones encontradas en el desarrollo de este proyecto de tesis y ciertas recomendaciones para su replica en futuras ocasiones, así como también se incluye un procedimiento para la aplicación de esta herramienta.

5.2 Aplicabilidad y Observaciones

Este modelo de MVA es aplicable de manera sencilla a las líneas de producción, sin embargo una de las condiciones que se requieren para su buena implementación es que la línea de producción presente un flujo continuo de piezas a través de todas las estaciones de trabajo.

5.3 Limitaciones

Las reducciones de tiempo en las estaciones de trabajo, en este caso fueron una integración de las estaciones de soldadura parcial y soldadura final, llevadas a cabo de una manera sencilla y sin hacer algún tipo de inversión, solamente cambios en los procedimientos y algunas inspecciones de calidad en el producto final y reuniones con los operadores, con estos cambios, pudimos demostrar que estas estaciones, que eran el cuello de botella, pueden producir los 5 ensambles diarios, sin embargo no se logró la meta de incrementar la productividad en todo el sistema, en parte fue debido a que la

línea estuvo interrumpiendo su flujo de producción ocasionado por los constantes paros por material proveniente del proveedor interno.

5.4 Recomendaciones para la aplicación en la línea de producción

En el presente estudio se observó que existen algunos factores que afectan la aplicación del modelo, en general uno de los factores que más afectan al desarrollo y aplicación de estos modelos es la variación que se tiene de los tiempos de proceso, durante esta investigación se observaron diversas causas que contribuyeron en este punto, por lo que se hacen las siguientes recomendaciones a fin de mitigar este problema:

- Análisis de componentes faltantes a la línea de ensamble, revisión de su impacto en los tiempos perdidos, encontrar causa raíz del problema y aplicar un plan para su implementación.
- Revisión de tiempo caído de las máquinas de cada estación, a fin de adelantarnos a los problemas y mantener flujo continuo. Cabe mencionar que durante el periodo de estudio se cambiaron dos máquinas soldadoras ya que presentaban problemas crónicos y ocasionaban paros de estaciones. En este caso se recomienda la implementación del programa TPM (Mantenimiento Productivo Total) para la reducir los tiempos caídos por causas de descompostura del equipo.
- Respecto a la cuestión de los retrabajos en la línea, se recomienda que todos los operadores del área estén certificados en la(s) operación(es) y que cumplan al 100% con su matriz de flexibilidad.
- Enfoque a la eliminación constante de desperdicios para reducir los tiempos de proceso y eliminar operaciones que no agregan valor.

5.5 Procedimiento para el análisis y la mejora de la productividad de una línea de producción, manteniendo el nivel más bajo de inventario.

1. Definir estaciones de trabajo y el objetivo a lograr en productividad.

Definir las estaciones de trabajo que forman la línea de producción, así como también el objetivo que se desea lograr en lo referente a la productividad., Es decir la cantidad de ensambles que tienen que salir de la línea de producción en un periodo de tiempo determinado.

2. Recolección de Datos

Los datos necesarios para la elaboración de la hoja de cálculo son los siguientes:

- Tiempos de proceso de cada estación de trabajo.
- Ensamblados que salieron del sistema por día de trabajo (Throughput)
- Cantidad de ensambles en WIP.

Un ejemplo de la tabla para vaciar los datos se muestra en la tabla 5.1

Tabla 5.1 Formato para recolección de datos

Día	Ensamblados que salen del sistema (Throughput)	Cantidad de ensambles en proceso (WIP)
1		
2		
3		
Promedio		

Los tiempos de proceso sirven para el desarrollo de la hoja de cálculo, en tanto que el throughput y la cantidad de ensambles en el WIP sirven para comparar contra los datos obtenidos de las fórmulas.

3. Desarrollo de hoja de cálculo y Gráfica de Resultados

Una vez que ya se tienen definidas las estaciones de trabajo, así como también los tiempos de proceso, se procede al desarrollo de la hoja de cálculo, mediante la aplicación de las siguientes fórmulas:

$t_e(j)$ = Tiempo de proceso de cada estación de trabajo

w = Cantidad de ensambles en proceso

c_e = Coeficiente de variación del tiempo efectivo del proceso

$CT_j(w)$ = Tiempo de ciclo de la estación j

$$CT_j(w) = \frac{t_e^2(j) [c_e^2(j) - 1] TH(w-1) + [WIP_j(w-1) + 1] t_e(j)}{2}$$

$CT(w)$ = Sumatoria de los tiempos de ciclo de todas las estaciones del sistema

$$CT(w) = \sum_{j=1}^n CT_j(w)$$

$TH(w)$ = Throughput de la línea (Cantidad de producto que sale del sistema en un periodo de tiempo determinado).

$$TH(w) = \frac{w}{CT(w)}$$

WIP_j (w)= Nivel promedio de inventario en la estación j.

$$WIP_j(w) = TH(w) CT_j(w)$$

La hoja de cálculo de la Tabla 5.2 fue desarrollado a partir de las fórmulas anteriores.

Tabla 5.2 Ejemplo de hoja de cálculo

Estación	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7									Throughput por día	
Tiempo Ciclo	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00										
Ce value	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55										
w	Tiempo de Ciclo de cada estación							CT	WIP							TH	
	1	2	3	4	5	6	7		1	2	3	4	5	6	7		
0								7.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	7.00	0.143	0.143	0.143	0.143	0.143	0.143	0.143	0.1429	3.143
2	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	7.65	0.286	0.286	0.286	0.286	0.286	0.286	0.286	0.2614	5.751
3	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	8.36	0.429	0.429	0.429	0.429	0.429	0.429	0.429	0.3588	7.893

Para la asignación de los valores de c_e , se recomienda que estos oscilen entre 0.2 y 2, hasta que los valores de throughput por día y de cantidad de ensambles en proceso(w) coincidan con los datos observados en piso.

En el caso del ejemplo anterior, significaría que los ensambles que se mantuvieron en proceso fueron de 3 y que el throughput fue de 7.8 ensambles diarios, por lo que el valor de c_e debe de ser de 0.55.

Seguido a esto, se procede a graficar los datos de throughput contra la cantidad de inventario en proceso (WIP), como se muestra en la Figura 5.1.

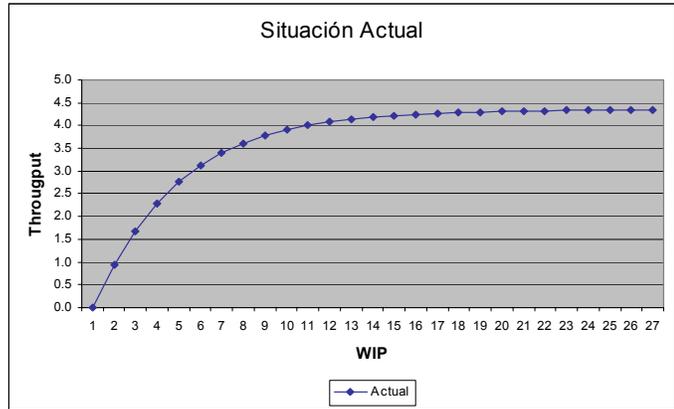


Figura 5.1 Ejemplo de Gráfica throughput vs. WIP

4. Generación de propuestas de Mejora.

Se procede a evaluar diversos escenarios, esto se lleva a cabo modificando los valores de los tiempos de proceso hasta que los valores de throughtput sean iguales al objetivo deseado.

Si en algún escenario propuesto se evalúa la opción de eliminar alguna estación de trabajo, se tiene que hacer el ajuste en la hoja de cálculo para reflejar que hay una o varias estaciones menos.

5. Evaluación y selección de escenarios.

Para elegir la mejor opción, se toman en cuenta las siguientes consideraciones:

- Que los resultados que arrojen en la cantidad de ensambles que salen del sistema por unidad de tiempo deseada (throughput), sean iguales al que buscamos como objetivo.
- Que la propuesta seleccionada sea factible de implementar, en lo que respecta a las evaluaciones correspondientes de costo y tiempo de implementación.
- Que en la línea de producción exista espacio suficiente para la cantidad de ensambles que tenemos que mantener en proceso (WIP),

6. Implementación de mejora y monitoreo de resultados

Una vez que se ha seleccionado la mejor alternativa, se procede a llevar a cabo la implementación; ya con los cambios realizados en la línea de producción, los resultados deben de estar siendo monitoreados a fin de comparar estos datos contra lo planeado.

5.6 Investigaciones futuras

Este modelo se utilizó en esta ocasión para una línea con un proceso manual, se recomienda hacer la aplicación de este modelo MVA, en líneas de ensamble semiautomáticas o automatizadas, que también tengan un flujo de material continuo y en el que los tiempos de procesos sean más estables para analizar el comportamiento de la fórmula a fin de comparar estos resultados y observar que tanta variación tiene el modelo. En este caso se pudiera también presentar algunos otros factores que influyen, positiva o negativamente, en la aplicación y validación del modelo.

CAPITULO VI: BIBLIOGRAFÍA

Askin,Ronald G ; Goldberg,Jeffrey B. Design and analysis of lean production systems
John Wiley & Sons Inc, 2002

Blanco Rivero, Luis Ernesto. CONWIP: Un sistema de control de Producción. Santa Fe
Bogotá Colombia. Escuela Colombiana de Ingeniería. Abril 2006.

CPIM Basics of Supply Chain Management Participant Guide.Version 2.1 August 2001

E M Dar-el; Y T Herer; M Masin .CONWIP-based production lines with multiple
bottlenecks: Performance and design implications .IIE Transactions; Feb 1999; 31, 2;
pg. 99

Fabrizio Tom & Tapping Don. Administración de la Cadena de Valor: Ocho pasos para
Planear, Mapear y sostener mejoras en Manufactura esbelta. Productivity de México
2002.

Framinan,Jose M; Ruiz-Usano,Rafael;Leisten,Rainer. Input control and dispatching rules
in a dynamic CONWIP flow-shop.INT. J. PROD. RES., 2000, VOL. 38, NO. 18, 4589±
4598

Gaury, JPC Kleijnen1 and H Pierreval .A methodology to customize pull control systems.
Journal of the Operational Research Society (2001) 52, 789–799.

Gaury, JPC Kleijnen1 and H Pierreval . An evolutionary approach to select a pull system
among Kanban, Conwip and Hybrid. Journal of Intelligent Manufacturing; Apr 2000; 11,
2; pg. 157

Hopp, W.J., Spearman, M.L., Factory physics: The foundations of manufacturing
management. McGraw-Hill, New York, 2001.

Hunter, Steve L. The 10 steps to lean production. FDM; Mar 2004; 76, 4; pg. 32

Khojasteh Ghamari ,Yaghoub. Analyzing Kanban and CONWIP controlled assembly systems. Doctoral Program in Policy and Planning Sciences ,January 2006

Marek, Richard P; Elkins, Debra A; Smith, Donald R. Understanding the fundamentals of Kanban and CONWIP pull systems using simulation. Winter Simulation Conference 2001

Milas, Gene H .Assembly Line Balancing...Let's Remove The Mystery. Industrial Engineering; May 1990; 22, 5. pg. 31

Nahmias, Steven. Análisis de la Producción y las Operaciones. Compañía Editorial Continental , México 1999.

Schonberger,Richard J; Knod, Edward M. Operations Management Customer –Focused Principles.Irwing Mc Graw-Hill,1997

Shin, Dooyoung; Min, Hokey . Flexible Line Balancing Practices in a Just-in-Time Environment. Production and Inventory Management Journal; Fourth Quarter 1991; 32, 4; pg. 38

Spearman, Mark L.; Zazanis, Michael A.Push and Pull Production Systems: Issues and Comparisons.Operations Research; May/Jun 1992; 40, 3; Academic Research Library pg. 521.

Womack James P & Jones Daniel. Lean Thinking. Banish waste and create health in your corporation. Simon & Schuster 1996 .

ANEXO I: DEFINICIONES

Las siguientes son definiciones puestas a disposición del lector como ayuda para entender mejor el desarrollo de la tesis . Estas fueron tomadas de los libros Design and Analysis of Lean Production Systems de Askin and Goldberg y Factory Physics de Hopp & Spearman.

Just In Time: El sistema de producir y entregar los productos correctos, en el tiempo correcto y cantidad correcta.

KanBan: La palabra kanban significa “tarjeta” en japonés. Este sencillo sistema de producción consiste en reaccionar a tiempo para producir lo que el cliente pide mediante tarjetas que dan la señal para reponer el material consumido por el cliente.

Work In Process (WIP): Significa material en proceso y se define como todas las partes o productos que no están terminados y que se localizan en el área de producción en espera de ser procesados.

Pull System : Significa sistema “Jalar” y la autorización para realizar un trabajo depende del estatus del sistema.

Push System: Significa “sistema de empujar”, y su programa de producción depende de la demanda.

Set Up: Preparación que se le hace al equipo para producir determinado producto.

Throughput : Es definido como la tasa de partes producidas por una línea en una unidad de tiempo.