



01168
21

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

Facultad de Ingeniería

**"FILOSOFIA Y MODELOS RELATIVOS
A SISTEMAS MODERNOS DE MANUFACTURA"**

T E S I S

PRESENTADA A LA DIVISION DE ESTUDIOS
DE POSGRADO DE LA

FACULTAD DE INGENIERIA

DE LA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

COMO REQUISITO PARA OBTENER
EL GRADO DE

**MAESTRO EN INGENIERIA
(INVESTIGACION DE OPERACIONES)**

PRESENTA: ING. JESUS QUI NIETO

ASESOR: ING. FEDERICO GONZALEZ SANTOYO

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**CIUDAD UNIVERSITARIA
1993**



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

Parte I: Filosofías y Principios	1
Capítulo 1: Introducción	2
Capítulo 2: Principios Elementales de Producción y Definiciones Básicas	10
Capítulo 3: El Planteamiento Conceptual Básico para la Mejora	17
Capítulo 4: El Mecanismo del Pensamiento Científico	24
Capítulo 5: Implementación de Planes de Mejoras	42
Capítulo 6: Actividades de Toda la Compañía para Promover la Mejora	46
Capítulo 6b: Las Funciones de la Dirección	48
Capítulo 7: Respeto a la Dignidad de la Persona	52
Capítulo 8: Imperativos Humanísticos y Cambio Tecnológico en los Sistemas Modernos de Manufactura	56
Capítulo 9: Nuevas Tecnologías en los Sistemas de Manufactura: La Perspectiva "Mejor" de Lund y Hansen	63
Capítulo 10: Humanismo y Cambio Tecnológico	71
Capítulo 11: El Humanismo y la Dirección	81
Conclusión	89
Bibliografía de la Parte I:	91
Parte II: Modelos Matemáticos Básicos Empleados en Producción	93
Capítulo 12: Introducción	94
Capítulo 13: El Modelo EOQ a la Luz de los Nuevos Sistemas	103
Capítulo 14: Uso Estratégico de Lotes más Pequeños Mediante el uso de un Nuevo Modelo EOQ	112
Capítulo 15: Planes de Producción Balanceados en Líneas de Ensamble con Mezcla de Productos en Sistemas Justo a Tiempo	122
Capítulo 16: Planes de Producción en Sistemas JIT con Mezclas en el ensamble y con Niveles Múltiples	136
Capítulo 17: Determinación del Número Óptimo de Kanbans	146
Capítulo 18: Combinación de Reglas de Prioridades en la Producción: Un Enfoque para Mejorar el Desempeño en un Taller con Flujo Dominante	150
Capítulo 19: Determinación de Tamaños de Lotes Dentro de la Capacidad con Tiempos de Preparación	160
Capítulo 20: Análisis Crítico de la Teoría de Restricciones	183
Capítulo 21: Indicadores Clave de los Sistemas Modernos de Manufactura	197
Capítulo 22: Recapitulación	230

**Melior est finis quam principium
Opus coronat finis**

PARTE I: FILOSOFIAS Y PRINCIPIOS

CAPITULO 1: INTRODUCCION

En la competencia a nivel mundial que se vive actualmente, es muy difícil sobrevivir si no se tiene la infraestructura necesaria tanto a nivel de recursos materiales como de recursos humanos. Obviamente, la más importante de las dos es la última: mi experiencia personal me ha mostrado que cualquier problema de productividad o de calidad esconde su raíz última en un problema humano.

Si no tratamos de atacar el problema mediante el punto de vista de la persona y su dignidad es porque precisamente es el tópico que más cuesta afrontar y el más incómodo: conozco muchas empresas que con el fin de ser muy competitivas invierten sus recursos principales en la compra del activo fijo despreciando aspectos tan medulares como el de la capacitación. El problema es que esto acarrea de manera implícita mensajes que la gente de todos los niveles descifra muy, pero muy fácilmente, llevando todo esto como consecuencia que los conflictos existentes en las empresas sean interminables. Ejemplo de esto último que acabo de afirmar lo vemos en dos hechos relativamente recientes: por una parte, la planta FORD de Cuautitlán, que resuelve un conflicto laboral mediante la liquidación de todos los trabajadores de la planta y la recontractación selectiva del personal, lo mismo que Volkswagen en Puebla. El tiempo transcurrido ha sido

suficiente como para demostrarnos que cuando la solución se lleva a cabo de manera tan técnica, en el largo plazo el problema vuelve a surgir: "no tiene la culpa el indio...". Cuando la Alta Dirección no lleva a cabo una serie de reformas profundas -y la primera es que ella misma debe reformarse- no podrá conseguir nunca nada.

¿Cuál es el mensaje oculto por ejemplo cuando no se capacita al personal como debe de ser capacitado?

1. No tiene caso capacitarte si el día de mañana te vas a ir a otro lado a trabajar.

2. Tienes una cara de déficit que me hace pensar que la empresa nunca te podrá dar lo que la naturaleza te negó.

3. No me conviene que sepas demasiado, mi poder disminuiría.

4. Lo primero que harías al terminar la capacitación sería pedirme un aumento de sueldo.

. Todo este tipo de señales es captado por el personal obrero y el peor engaño en que cae el directivo es un auto engaño porque piensa que el obrero no se da cuenta de eso.

Otro ejemplo lo constituye el lanzamiento de un plan piloto con el fin de implementar alguna técnica moderna de fabricación: el plan estará condenado al fracaso si no se destinan los mejores recursos para el mismo, y esto no significa únicamente que estemos hablando de los recursos monetarios sino más bien del personal. En primer lugar la

gente sabe quiénes son los mejores y si no los ven dentro del equipo de implementación se darán cuenta de la poca importancia que tiene el plan para la dirección; en este punto podríamos decir que los obreros actúan de alguna forma por imitación, en este caso pasa algo parecido a lo que sucede en los servicios: en la misma medida en que la Alta Administración trata a sus empleados, de esta misma forma tratarán éstos a los clientes.

Esta tesis la había comenzado por lo que ahora quedó como la segunda parte, pero una profunda reflexión me ayudó a ver más claramente el valor de la filosofía subyacente a cualquier modelo que pueda darse. Esto de alguna forma no es nada nuevo, e inclusive algunos conceptos podrán parecer repetitivos con respecto a lo que se dice en la introducción de la segunda parte, pero no he querido hacer las modificaciones que se hubieran requerido: lo he hecho por un cierto tipo de pedagogía que usan los orientales con mucha frecuencia: la enseñanza por repetición de los conceptos. Otro argumento a favor es que no todo mundo está familiarizado con los mismos conceptos y cuando no se está familiarizado, es preciso rumiar las cosas: leerlas, volverlas a leer, y así, poco a poco ir las madurando hasta que engendran el concepto más adecuado. Esto que escribo es una experiencia obtenida como profesor de universidad y que ha sido tanto de provecho personal como para el de mis alumnos. Los mismos revisores de esta tesis, con

calificación fuera de duda y seguramente todos profesores experimentados y de alto nivel podrán corroborar las afirmaciones anteriores a la luz de la proporción que hayan dedicado a la docencia dentro la labor académica realizada.

En esta parte no se contiene nada nuevo, es nuevo en cuanto que la persona que pudiera consultarla le pudiera ser útil si es la primera vez que se topa con los conceptos encontrados; podría decirse que el mérito más bien consiste en la recapitulación de los conceptos más importantes subyacentes a los sistemas modernos de manufactura y aunque se han consultado relativamente pocas fuentes, considero que las mismas están entre las mejores, inclusive no sería erróneo afirmar que prácticamente es un condensado de las ideas de Shigeo Shingo, una de las mentes más lúcidas y brillantes en este siglo en quien pocas veces se logra esa realización de una creatividad de alto nivel con una posesión de conocimientos avanzados de Ingeniería Industrial, experiencia y a final de cuentas un sentido común nada común, junto con reflexiones que han hecho pensadores modernos sobre el tema.

Otro de los temores que tenía en incluir esta parte en la tesis fue la de que hubiera demasiado "rollo" pero vuelvo a la misma idea que expuse líneas arriba: si se ignora el factor humano y el sentido común, la técnica y su respectivo modelo se convierte en un fuego fatuo sin

contenido y susceptible a ser adoptado por quien no sabe de qué manera aplicarlo o bajo qué circunstancias: es la diferencia entre la típica receta de cocina y la concretización de la implementación de un problema para la solución de un problema real.

Acerca de esto tengo el siguiente ejemplo obtenido de la vida real. Los directivos de una empresa dedicada a la fabricación de cables cuya materia prima es el cobre, estaban preocupados debido al alto nivel de inventario en proceso; en una empresa de estas características esto es un factor de especial relevancia ya que el cobre se cotiza en los mercados internacionales y de un día a otro su precio puede variar grandemente; ante la escasez de recursos líquidos, la empresa no podía darse el lujo de especular ni siquiera en forma involuntaria. Por otro lado, con el fin de cumplir mejor las promesas de entrega, habían aumentado los tiempos de entrega de una semana a dos, esto, sin que lo supieran, había aumentado precisamente el inventario en proceso al equivalente a dos semanas Y EL PROBLEMA SIGUIÓ SIENDO EL MISMO ya que el nivel de servicio no mejoró. Tratando de resolver esta situación pidieron a una empresa consultora que les implementaran un Kanban, en el sentido literal de la palabra, esto es, el sistema "pull" considerado y no como un equivalente al sistema total Justo a Tiempo, ESTO INCREMENTO AUN MAS EL INVENTARIO EN PROCESO, ya que ignoraban que el sistema kanban se usa para artículos de

alto movimiento y ellos lo aplicaron indiscriminadamente a todos los productos sin importar que tuvieran poca movilidad. Para todos los artículos tenían inventarios de 3 meses sin dar argumentos que justificaran tal política. Por último: debido a la cantidad de problemas existentes entre mercadotecnia y producción, decidieron separar los departamentos con el fin de evitar conflictos (el inventario estaba a cargo de producción y pagaba los platos rotos de mercadotecnia debido a que al no venderse los artículos, éstos se quedaban, disminuyendo el desempeño del departamento de producción). Cuando el gerente de mercadotecnia recibió la notificación de que ahora ellos iban a tener responsabilidad del inventario que hubiera quedado, respondió diciendo que si se manejaban autónomamente, ellos iban a calificar a producción por el nivel de servicio que le iba a proporcionar a ellos. ¿Cuál fue el resultado? Que el sistema AUMENTO el inventario de artículos terminados, ya que para protegerse contra un mal servicio, el departamento de producción empezó a crear sus inventarios, quedando éstos en producción y en mercadotecnia. Estos ejemplos de falta de integración o más bien, anti-integración merman grandemente la empresa, la situación es tan ridícula a veces que ya no se sabe si debe uno ponerse a reír o a llorar.

El común denominador que encontramos es la IGNORANCIA; decía Oliver Wight, un connotado experto en

control de producción y de inventarios que si cuesta invertir en capacitación por el costo que representa hay que probar el costo de la ignorancia. Si esto no se hace es porque es difícil de cuantificar este costo y en cambio el desembolso que produce la capacitación es muy tangible.

Si no se dice TODA la verdad acerca de una situación problemática es muy difícil que se resuelva de raíz el problema que se está tratando, y en este caso "TODA" significa que el problema debe analizarse desde varios puntos de vista, puntos de vista tanto cualitativos como cuantitativos y en los que inclusive los cualitativos sean tan o más fundamentales que los cuantitativos, por ejemplo, tendemos a tomar decisiones equivalentes a la siguiente: llega un paciente con el médico y si el paciente sólo le muestra el salpullido del que está aquejado en todo el cuerpo y el médico se limita a la aplicación inmediata de la medicina, el médico terminará poniendo alguna crema a cada uno de los granos, tarea que además de ser laboriosa es inútil, ya que, sabemos, la raíz se encuentra en una investigación más profunda. Con respecto a los inventarios tenemos las mismas actitudes: la problemática que se presenta en la mayor parte de las compañías es el de inventarios excesivos y sin embargo, un pobre servicio al cliente, parecería el cumplimiento, una vez más de la Ley de Murphy: se tiene en exceso de lo que nadie busca y no se tiene de lo que la gente compra.

Sin embargo ¿de qué manera se plantea el problema?, "desarrollar un sistema de control de inventarios" es lo que comúnmente se pide al asesor o al encargado del departamento, desgraciadamente, el plantear el problema de esta forma equivale a aquel mal médico del que acabamos de hablar. EL INVENTARIO ES EL LUGAR DONDE DESEMBOCAN TODOS LOS PROBLEMAS DE LA EMPRESA, EL PROBLEMA NO SE ENCUENTRA EN EL INVENTARIO EN SI, SINO EN OTRAS PARTES. Desafortunadamente, aún existe este tipo de mentalidad en muchas empresas, lo más triste es que, ya sea el empleado o el asesor nunca van a discutir la idea -el cliente tiene siempre la razón- y aquello se va a hacer, pero el problema nunca se va a solucionar de raíz.

En esta introducción me he permitido expresarme de una manera tal vez un poco fuera de lugar en lo que representa una tesis de maestría, lo he hecho porque generalmente la introducción da más grados de libertad en este sentido y esta aclaración puede considerarse como una disculpa. Procuraré que no sea así desde este momento en adelante.

CAPITULO 2: PRINCIPIOS ELEMENTALES DE PRODUCCIÓN Y DEFINICIONES BÁSICAS

PROCESO: Se refiere al flujo de productos de un trabajador a otro, es decir, a las fases en que las materias primas se mueven gradualmente para convertirse en productos acabados.

OPERACIÓN: Se refiere a la fase en que un trabajador puede trabajar en diferentes productos, es decir, un flujo humano temporal y especial que se centra consistentemente alrededor del trabajador.

En base a las definiciones anteriores, puede descubrirse que las mejoras deben centrarse principalmente en el mejoramiento del proceso y después en las operaciones. Por ejemplo no es lo mismo mejorar el transporte que eliminarlo, la realización de un layout (proceso) es mucho mejor que por ejemplo automatizarlo (optimizar la operación).

RETRASOS DE PROCESO: Estos comprenden el retraso de un lote entero entre procesos como, por ejemplo, cuando un lote llega a un proceso antes de que se haya completado la elaboración de un lote anterior. Las posibles razones de un retraso de proceso incluyen la falta de sincronización, cálculo de "timing" defectuoso (que permite que los elementos lleguen antes del tiempo previsto), variaciones en el tamaño de los lotes contiguos y procesos convergentes (donde los elementos

que salen de varios procesos confluyen en un proceso único).

RETRASOS DE LOTE: Esto ocurre por ejemplo, cuando en un lote de 1,000; 999 elementos no procesados están esperando mientras se está procesando el primer elemento del lote, 998 elementos no procesados están esperando mientras se efectúa el procesado del segundo elemento, y cada elemento procesado espera mientras los restantes del lote están siendo procesados.

En un retraso de lote, aunque haya 1000 elementos en el lote a procesar, el retraso desaparecerá cuando cada lote de transporte al próximo punto de procesado sólo contenga un elemento.

Como puede observarse en el párrafo anterior, este tipo de observaciones son las que van fundamentando los modelos que se ven en la segunda parte. Los modelos presentados se dan a conocer con fines didácticos ya que ayudan a comprender la simpleza de los principios expuestos en esta parte y la aplicación de los mismos.

Muy pocos países occidentales centran su atención en la mejora diaria -con una participación total de los trabajadores en el campo de la tecnología de fabricación- y poco se sabe sobre la tecnología de producción.

OPERACIÓN DE MAQUINAS MÚLTIPLES: Cuando hay más de una máquina del mismo tipo.

OPERACIÓN DE PROCESOS MÚLTIPLES: Se refiere a cuando un trabajador es responsable de varios tipos distintos de máquinas en el flujo del proceso.

Es interesante observar que el aumento de operaciones de máquinas múltiples ha llevado consigo un aumento en la distancia recorrida.

NUNCA SE PUEDE ESPERAR QUE SE MATERIALICE UN PROGRESO SUSTANCIAL PARA EL AUMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN LOS ESTADOS UNIDOS Y EUROPA, CARECIENDO DE UNAS MEJORAS MAS COMPLETAS DE LAS RELACIONES HUMANAS EN EL TRABAJO.

El inventario puede resolver ciertos problemas muy fácil y eficazmente, por ejemplo:

a) El inventario permite una respuesta inmediata a una demanda imprevista.

b) El impacto de una larga preparación puede ser disminuido aumentando los tamaños de los lotes y regulando el aumento por medio del empleo de un lote económico.

c) La existencia de un stock disponible amortigua inmediatamente cualquier unidad defectuosa que pueda producirse.

d) También resulta útil el inventario cuando los fallos de máquinas interrumpen la producción.

e) El inventario puede proteger contra interrupciones en la producción ocasionadas por la ausencia de algún obrero, etc.

En los sistemas modernos de manufactura, que implican los cero inventarios, se considera que el stock es un mal absoluto y que es absolutamente necesario el eliminarlo. La necesidad de tener un inventario puede ser eliminada adoptando varias medidas:

a) Los pedidos urgentes pueden resolverse acortando, por ejemplo, los plazos de fabricación de cuatro semanas a dos.

b) Los cambios de datos en menos de diez minutos (SMED por sus siglas en inglés) pueden reducir el tiempo de las preparaciones de cuatro horas a tres minutos o a cuestión de segundos en combinación con la automatización.

c) Los CERO defectos pueden conseguirse por medio de un control de calidad CERO (ZQC), es decir, con la inspección en el origen y el sistema Poka Yoke.

d) Se puede evitar que la mayoría de las ausencias de trabajo interrumpan la producción, multiplicando las capacidades de los trabajadores o empleando la pre-automatización.

De estos puntos, podría decirse que el desarrollo de los sistemas de cambio de datos en menos de diez minutos es el punto de partida para una revolución mundial en los sistemas de producción.

Un error de los sistemas tradicionales es que se ha creído, con demasiada frecuencia, que los métodos cuantitativos que preceden a la mejora -en otras

palabras, los medios- son fines en sí mismos: en lugar de evaluar el impacto de la calidad mediante el uso de las gráficas de control, se evalúa el número de gráficas de control que hay.

Las funciones de la dirección deben abarcar la planificación, el control y la verificación. La falta de conciencia de la función de control es el mayor defecto de la dirección de producción en los países occidentales.

El hecho de tratar con el factor humano lleva necesariamente a cuestiones de tipo ético, que por supuesto deben estar bien orientadas y responder a la naturaleza inmutable del ser humano, rechazando completamente cualquier intento de relativismo, por ejemplo, aparte de procurar unos beneficios propios, la compañía debe también devolver un beneficio a la sociedad, bajando por su propia cuenta los precios de venta, antes de permitir que la demanda determine los precios.

No se debe de tolerar ningún defecto, a fin de cuentas, un único cliente, por ejemplo, compra solamente un aparato de televisión.

Las inspecciones por muestreo pueden contar con el respaldo de la estadística, pero se basan en la suposición de que no se puede hacer nada con, por ejemplo, un defecto entre mil: las inspecciones por muestreo son a final de cuentas sólo unos medios de

inspección. En base a lo anterior hemos de hacer una distinción en el Control de Calidad:

Control de Calidad para reducir defectos

Control de calidad para eliminar defectos

Podemos mejorar los sistemas y las técnicas todo lo que queramos, pero si no realizamos cambios significativos cuestionando y mejorando estas premisas conceptuales básicas, nuestros espléndidos sistemas y técnicas se derrumbarán como castillos en la arena.

El sistema Kanban, considerado en sí mismo no aumenta la productividad: la implementación aislada de este sistema lleva como beneficio únicamente que se empieza a controlar de alguna forma el inventario pero éste, per se no se reduce. La reducción en el inventario en los sistemas modernos de manufactura es un beneficio más que un objetivo.

La experiencia confirma que si nos deshacemos de los inventarios, bajamos los costos de producción aproximadamente en un 40%.

No hay ninguna ventaja particular en aumentar los tamaños de los lotes si los tiempos de preparación de máquinas son reducidos drásticamente.

El sistema de producción de Toyota había sido adaptado según los métodos de los supermercados, la idea es producir drásticamente en respuesta a pedidos firmes y mantener inventarios mínimos para responder al deseo de entrega inmediata del cliente de la siguiente forma:

a) Sólo se producen unidades para reemplazar los artículos vendidos.

b) La mercancía no vendida no necesita ser reemplazada y, por consiguiente, no se producen más elementos.

CAPITULO 3: EL PLANTEAMIENTO CONCEPTUAL BASICO PARA LA MEJORA

Shigeo Shingo ha propuesto una metodología para el mejoramiento continuo y sistemático de la productividad y la calidad:

En primer lugar han de identificarse cuatro relaciones entre las cosas:

1. Causa y efecto
2. Oposición
3. Similaridad
4. Proximidad

Después han de seguirse los siguientes pasos:

FASE I: IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

En primer lugar no basta poner slogans como el siguiente: "elimine el desperdicio", lo importante es encontrarlo, lo malo es cuando la gente no lo percibe cuando lo ve.

Existen dos tipos de tareas que se realizan en una fábrica: aquellas que aumentan el valor del producto y aquellas que simplemente aumentan el costo de su producción.

Existen muchas clases de despilfarro en el lugar de trabajo, pero no todo despilfarro es obvio. A menudo aparece bajo el disfraz de un trabajo útil. Tenemos que mirar bajo la superficie y captar la esencia, pero tales

programas de mejora normalmente no tienen éxito a no ser que los acompañe un entendimiento claro de qué es un despilfarro y una capacidad de descubrir los posibles puntos problemáticos en un entorno aparentemente libre de problemas.

La mayor contribución que se pueda hacer para el desarrollo feliz de la propia planta es buscar con agresividad los problemas y luego corregirlos. Para hacerlo, es necesario primero dividir todas las tareas que en la actualidad se realizan en tareas que añaden valor y otras que simplemente hacen subir los costos: lo importante es no tirar la toalla nunca y no afirmar con resignación que nada se puede hacer. No estar nunca contento del todo y buscar simplemente maneras de mejorar las cosas son requisitos de primer orden para descubrir los problemas.

FASE 2: PLANTEAMIENTOS CONCEPTUALES BÁSICOS PARA MEJORAS

Cuando se trata de fabricar un determinado producto, el objetivo ha de ser cero defectos, o mejor dicho, hacer económica la producción de cero defectos ya que por lo general un único cliente compra solamente un producto. Las inspecciones por muestreo pueden contar con el respaldo de la ciencia estadística, pero se basan en la suposición de que no se puede hacer nada con, por ejemplo, un defecto entre mil: las inspecciones por

muestreo son a fin de cuentas sólo unos medios de inspección.

De lo dicho anteriormente se desprende que existen dos tipos de control de calidad:

- a) Control de Calidad para reducir defectos
- b) Control de Calidad para eliminar defectos

Podemos mejorar los sistemas y las técnicas todo lo que queramos, pero si no realizamos cambios significativos cuestionando y mejorando estas premisas conceptuales básicas, nuestros espléndidos sistemas y técnicas se derrumbarían como castillos en la arena.

Cuando una empresa por ejemplo implementa el kanban, no es que per se vaya a aumentar la productividad, la única ventaja real aquí es que la empresa ha empezado a controlar el nivel de excesos -realmente no ha hecho nada para reducir el inventario-: a no ser que mejoremos los sistemas de producción para cortar drásticamente los inventarios, no podemos aproximarnos al ideal de la eliminación del stock.

Los cero inventarios como fuente de beneficios

Tradicionalmente, se consideraban 3 factores que producían beneficios en las actividades de la producción:

- 1) Costo de los materiales más bajos
- 2) Costo de mano de obra más bajos
- 3) Costos indirectos más bajos

Desafortunadamente, hasta hace poco se pasaba por alto un factor extremadamente importante para generar

beneficios -por lo menos en forma implícita-: una mayor rotación del capital, es decir, aumentar los beneficios reduciendo los inventarios. La experiencia ha demostrado que si nos deshacemos de los inventarios, bajamos los costos de producción aproximadamente un 40%.

Un sistema de producción sin inventarios llevaría los siguientes objetivos:

1. Acortamiento drástico de los tiempos de entrega.
2. Eliminar o disminuir significativamente los excesos de producción, produciendo lotes mínimos.

Al reducir drásticamente el ciclo de producción o los tiempos de entrega, se pueden suministrar los productos dentro del plazo de compra exigido por el cliente. Además, al estar trabajando en esto, es cuando se descubre que no hay ninguna ventaja particular en aumentar los tamaños de los lotes si los tiempos de preparación de máquinas son reducidos drásticamente, aunque no hay que olvidar que el plazo en la compra preferido por el comprador es la entrega inmediata ya sea del producto o del servicio y no sólo eso, sino que, en la medida de lo posible, se pueda hacer incluso la entrega a domicilio, esa es la nueva tendencia del mercado, sobre todo esto se observa en forma particular en las empresas de servicios: ya no basta por ejemplo que la tintorería tenga la ropa lista al día siguiente, ahora el cliente exige que se recoja y se entregue a domicilio.

En este punto uno puede preguntarse el origen del sistema de producción de Toyota, y la respuesta es que el sistema de producción de Toyota había sido adaptado según los métodos de los supermercados. La idea es producir básicamente en respuesta a pedidos firmes y mantener los inventarios mínimos para responder a los deseos de entrega inmediata del cliente, de tal forma que:

a) sólo se producen unidades para reemplazar los artículos vendidos.

b) la mercancía no vendida no necesita ser reemplazada y, por consiguiente, no se producen más elementos.

Los inventarios, con todo lo que se está viendo, por lo tanto, no los determina la magnitud del suministro y la demanda, sino las disparidades en la capacidad de responder a las fluctuaciones del suministro y la demanda.

La evolución por lo tanto, de una empresa que está cambiando a un sistema moderno de producción sería más o menos la siguiente:

Etapa 1: Producción de lotes grandes

Etapa 2: Producción nivelada imperfecta o no ideal

Etapa 3: Sistema de pequeños lotes divididos (semejante a la anterior, pero en lotes más pequeños todavía)

Etapa 4: Sistema de producción mezclada

Como la etapa 4 es la más importante de todas y el último eslabón hacia el mejoramiento de la producción, se enumeran las siguientes consecuencias:

a) Debido a su flexibilidad, las fluctuaciones en la demanda pueden seguirse de cerca.

b) Los cambios en la mezcla de los productos, pueden efectuarse cambiando el orden de la producción.

c) Se pueden eliminar o minimizar los inventarios, puesto que la periodificación de la producción está asegurada.

d) No obstante, es necesario realizar el cambio de datos muy a menudo. Para minimizar los tiempos de cambio de datos, se procura evitar las preparaciones siempre que no sean imprescindibles.

e) Es necesario desarrollar cambios de datos de toque único (del sistema SMED al sistema STED: Single Touch Exchange of Die).

f) Se necesitan cambios de montaje y preparaciones frecuentes para tratar el constante cambio en los productos, lo que fomenta la probabilidad de errores de montaje. (El Sistema de control de calidad cero: ZQC por sus siglas en inglés de Zero Quality Control, es decir, inspección en el origen o lugar donde se genera la calidad y el sistema Poka Yoke son especialmente eficaces aquí).

Ya que el número de cambios de datos aumenta conforme uno se mueve de la etapa 1 a la 4, es esencial emplear el

sistema SMED o STED o incluso prescindir completamente de las preparaciones.

CAPITULO 4: EL MECANISMO DEL PENSAMIENTO CIENTIFICO (STM)

El material tratado en este capítulo, es una apelación al sentido común, pero no cabe duda que también lo es a la creatividad. Hasta cierto punto podrá parecer obvio, pero ha demostrado ampliamente su eficacia, es por esto por lo que Shigeo Shingo le ha dado un nombre tan pretencioso como el que aparece en este capítulo.

PASO PRELIMINAR HACIA LA MEJORA: PRINCIPIOS DE CLASIFICACION.

Existen muchos principios de clasificación, comúnmente nos sirven para distinguir una cosa de otra, por ejemplo adultos contra niños: edad. Por eso, el principio de clasificación es una manera básica de distinción.

Clasificación por oposición y clasificación continua

La clasificación por oposición es de las más sencillas: es muy fácil clasificar cosas cuando éstas se pueden contemplar sin dificultad en términos de "A" o "no A", por ejemplo, en la clasificación hombre y mujer. Sin embargo, en la clasificación adulto contra niño, el principio de clasificación se basa en la edad, que es un atributo continuo. Pero este tipo de planteamiento puede producir algunas dificultades, por ejemplo: el Señor A cumplió 20 años hoy, el Señor B cumplirá 20 mañana. ¿Puede decirse de estas dos personas que el Sr. A es más

"adulto" que el Sr. B?. De hecho, existen numerosos fenómenos en el entorno de una fábrica susceptibles de una clasificación continua. Estos fenómenos nos pueden crear problemas. Los ejemplos incluyen:

1) el tamaño de las partículas de polvo
2) hasta qué punto una pintura ha sido adecuadamente aplicada

3) el hecho de que los procesos son unidades grandes para el análisis de la producción y las operaciones son unidades más pequeñas para el análisis de la producción

4) una espera larga es una "espera de proceso", mientras que una espera corta es una "espera temporal".

Tan importante es este punto, que por ejemplo en el Diseño de Experimentos, Genichi Taguchi produjo una revolución con su famosa Función de Pérdida y que gracias a ella, los esfuerzos de mejoramiento continuo ya no se limitaron solamente al establecimiento de una situación de control estadístico, sino a una reducción en la variación¹.

Clasificación con Intersección

Se determinan diferentes criterios de clasificación que se puedan usar como base para una determinación. Posteriormente, los participantes pueden votar la importancia de cada criterio y la puntuación de los pros

¹Para quien quiera profundizar más en este aspecto puede consultar la obra "Diseño y Análisis de Experimentos" de Douglas C. Montgomery, Grupo Editorial Iberoamérica, 1992.

y los contras puede ser presentada por los directores de sección. Si multiplicamos el "coeficiente de importancia" por la puntuación total, se puede llegar eficazmente a una decisión.

Existen 4 maneras de relacionar las cosas:

- a) Causa y efecto
- b) Oposición
- c) Similaridad
- d) Proximidad

Son clasificaciones que por sí solas se explican.

IDENTIFICACION DEL PROBLEMA (FASE 1)

Cuando pensamos seriamente en realizar una mejora, el primer paso es identificar el problema.

En primer lugar hemos de dividir las tareas que se realizan en una fábrica en dos tipos: aquellas que aumentan el valor del producto y aquellas que simplemente aumentan el costo de producción.

Existen muchas clases de despilfarro en el lugar de trabajo, pero no todo despilfarro es obvio. A menudo aparece bajo el disfraz de un trabajo útil. Tenemos que mirar bajo la superficie y captar la esencia. Los programas de mejora normalmente no tienen éxito a no ser que los acompañe un entendimiento claro de qué es un despilfarro y una capacidad de descubrir los posibles puntos problemáticos en un entorno aparentemente libre de problemas: no hay que olvidar de que el verdadero problema consiste en pensar que no existen problemas. La

mayor contribución que se pueda hacer para el desarrollo feliz de la propia planta es buscar con agresividad los problemas y luego corregirlos. Para hacerlo, es necesario primero dividir todas las tareas que en la actualidad se realizan en tareas que añaden valor y otras que simplemente hacen subir los costos.

Lo importante es no tirar la toalla nunca y no afirmar con resignación que nada se puede hacer. No estar nunca contento del todo y buscar siempre maneras de mejorar las cosas son requisitos de primer orden para descubrir los problemas.

PLANTEAMIENTOS CONCEPTUALES BASICOS PARA MEJORAS (FASE 2)

Una vez que se haya identificado una gama de problemas, debemos entender las condiciones actuales antes de intentar proponer soluciones. Debemos arrancar la verdad implacablemente, no importa donde se esconda. Llevarlo a cabo requiere un planteamiento detallado, cuantificador y clasificador, por ejemplo, no tendría sentido pedir simplemente a los trabajadores que hagan su trabajo más de prisa.

Cuando decimos que una tarea lleva demasiado tiempo, en realidad queremos decir que ciertos movimientos llevan demasiado tiempo en realizarse. El culpable real es la estructura de los movimientos mismos; esto es lo que requiere tanto tiempo.

En esta etapa se emplean los cinco elementos de la producción: 5W + 1H equivalentes a:

1. Qué (what): objeto
2. Quién (who): sujeto
3. Cómo (how): método
4. Dónde (where): lugar
5. Cuándo (when): tiempo
6. Por qué (why): propósito

Cuando por ejemplo va a utilizarse una herramienta como las gráficas de control, será necesario separar las gráficas de control de las características de calidad verdaderamente importantes de las de menos importancia. En General Motors, esta distinción se hace de esa forma separando las características de calidad que son auditadas corporativamente y que son críticas para el funcionamiento del producto de aquellas que aunque no son críticas, influyen de alguna forma en las críticas.

Otra herramienta útil es el análisis ABC. La clasificación en A, B y C se realiza por medio de razonamientos. Es frecuente que el 30% de los materiales represente el 70% del costo. Los materiales que pertenecen a la clase A deben localizarse cuidadosamente y requieren un control estricto para su uso. Los materiales que pertenecen a la clase C se pueden despachar en una vez en un suministro mensual. Y los materiales que pertenecena la clase B requieren un control de nivel intermedio, un método de control confeccionado de acuerdo con la importancia del material. Lo más importante al realizar mejoras es el criterio y

selección de "acciones de alto nivel", esto es, aquellas que atacuen la causa más importante del problema.

La persecución de metas orientadas a los fundamentos

Existen cuatro propósitos para la mejora: más fácil, mejor, más rápido y más barato.

En este momento, un peligro que nos puede hacer perder de vista los objetivos es la confusión de fines y medios. Para evitar esto, puede seguirse el sistema Toyota que nos enseña a preguntar ¿por qué? 5 veces. Si esto no se hace, normalmente no se encuentra la causa verdadera del fenómeno.

No hay que olvidar de que a la hora de resolver un problema puede uno encontrarse en una de estas situaciones:

1) Persecución de metas tipo X (enfoque): Es la dirección de la atención hacia la verdadera meta de la operación que evita que se pierda uno en fenómenos superficiales.

2) Persecución de metas tipo Y (metas múltiples): Sucede cuando lo que parece un problema singular es en realidad una pluralidad de problemas.

3) Persecución de metas tipo Z (persecución sistemática de metas): Se explica mejor con un ejemplo como lo es el comer. ¿Para qué comemos? Inicialmente para satisfacer el hambre, pero como consecuencia nos estamos nutriendo y a la vez se sostiene la vida y finalmente está en función de un cierto significado de la vida.

Otro aspecto que no debe descuidarse es que últimamente han aparecido libros de "How To" (cómo hacer las cosas) en los Estados Unidos y esto como una consecuencia de que se sabe que no basta el saber "Qué" es lo que debe de hacerse, pero aún así, tampoco basta el "Cómo", también hay que saber "Por qué" hay que hacer las cosas.

No podría haber ninguna mejora en este mundo si solamente existiera un único medio para cada fin. Ciertamente, sólo cuando uno cree en la existencia de múltiples medios, aparece por primera vez la posibilidad de mejoras. ¿Y cuál es el único y más importante requisito para la mejora? Una mente abierta: aunque este requisito es necesario en todos los niveles de la organización, el impacto negativo es mayor conforme se desempeña una función de mayor responsabilidad ya que se afecta en esa medida la frustración de los subordinados.

Con demasiada frecuencia, rechazamos ideas que sólo hemos probado en nuestra cabeza. Sin embargo, planteamientos que puedan parecer ridículos, no pueden ser apreciados si no los hemos probado. Cuando tenemos el valor de probarlos, tales métodos inesperados conducen frecuentemente al éxito.

HACIENDO PLANES PARA MEJORAS (FASE 3)

Reconociendo el problema

Es extremadamente importante separar el reconocimiento de un problema de la formulación de ideas.

Un planteamiento deseable es no empezar a pensar en ideas que corresponden a varias observaciones que hayamos hecho, hasta haber hecho la última observación sobre el status quo.

Formulación de ideas

En este momento hay que concentrarse sólo en generar ideas sin ningún tipo de crítica, igual que en una sesión de "tormenta de ideas".

Métodos de formulación de ideas

En primer lugar, ha de definirse lo que es una idea nueva, en nuestro contexto, se definirá como "el producto de la asociación de conocimientos existentes".

Existen 4 tipos de asociación:

1) Asociación causal: Ocurre cuando uno se acuerda de cosas que tienen una interrelación causal (por ejemplo huracán e inundación).

2) Asociación de opuestos: Ocurre cuando uno se acuerda de cosas opuestas al estímulo o la experiencia (por ejemplo, noche y día).

3) Asociación de similitud: Ocurre cuando recordamos una experiencia del pasado similar como estímulo (por ejemplo bicicleta y moticileta).

4) Asociación de proximidad: Ocurre cuando uno recuerda una experiencia del pasado relacionada con otra de forma cronológica o espacial (por ejemplo mesa y silla, colegio y estudiantes).

Doce reglas para la formulación de ideas

La formulación de ideas para mejoras se puede clasificar globalmente en los dos grupos siguientes: eliminación y optimización.

Eliminación significa que el propósito del trabajo puede lograrse aunque se elimine el trabajo. Este es el mejor remedio. El siguiente planteamiento es pensar en una manera mejor de hacer un trabajo que no se puede eliminar. Esto es optimización. Sólo se clarifican aquellos pasos que tal vez no puedan quedar explicados en su sola enunciación.

1. Eliminación ¿podemos eliminarlo?

2. Hacia adelante y hacia atrás: Reverso

Consiste en pensar de forma inversa a como estamos tratando de resolver el problema, sucede cuando por ejemplo se tiene que levantar un objeto pesado para determinar el monto de su peso, puede ahorrarse bastante trabajo si se hace un agujero de tal forma que en lugar de levantar el objeto se lleve rodando a la báscula.

3. Normalidad y excepciones

Si varias operaciones pueden tratarse como excepciones, se simplifica enormemente el proceso de dirección.

4. Constantes y variables.

Consiste en el cambio del punto de referencia de tal forma que es posible que valores que vemos como constantes podemos convertirlos en valores variables.

5. Ampliación y reducción.

Consiste en modificar el mecanismo de ajuste de tal forma que se facilite el mismo ajuste y la medición de la característica de calidad.

6. Concentración y dispersión.

Hay que considerar que en el industrializado de procesos no siempre las extrapolaciones son válidas, por lo que no hay que aumentar o reducir solamente las dimensiones físicas, sino que también debe prestarse una atención especial a la similitud de condiciones y funciones.

7. Uniendo y separando.

Se puede realizar una mejora muy eficaz, combinando dos procesos en uno.

8. Añadiendo y suprimiento.

9. Operaciones en paralelo y secuenciales.

10. Cambiar una secuencia.

11. Diferencias y rasgos comunes.

La clasificación automática puede realizarse a menudo, aprovechando las diferencias de forma, movimiento, aspereza de superficie, etc.

12. Añadir y alternar.

La formulación de ideas depende finalmente de la creatividad. Hay muchas maneras de estimular la creatividad, pero una de las más básicas es el método de asociación. Es difícil sugerir una idea totalmente nueva.

La forma más fácil de crear ideas es hacerlo por la vía de asociaciones basadas en la experiencia.

Para lograr mejoras, en vez de preguntar: ¿qué ideas puedo sugerir?, a menudo ayuda más la pregunta ¿qué reglas de formulación de ideas puedo emplear?.

Seis principios para la mejora

1. Aptitud.

Significa que se deben considerar las aptitudes que posee cada individuo. Al diseñar un trabajo, se debe considerar tanto la fisiología de la tarea como la psicología de la tarea y la ergonomía.

2. División del trabajo.

No hay que olvidar que las mejoras en la productividad humana comenzaron con la división del trabajo.

3. Mecanización.

La gente empezó a usar herramientas para suplementar o sustituir a la mano de obra y la mecanización mejoró la productividad más todavía.

4. Motorización.

La fuerza se multiplicó con el uso de fuerza animal, la energía de la naturaleza, el fuego, y más tarde el combustible, que sustituyó y aumentó la fuerza humana.

5. Sincronización.

Las pérdidas surgen si no equilibramos las tareas de una manera más apropiada.

6. Estandarización.

La ineficiencia es el resultado de la diversificación de las tareas, de las herramientas usadas e incluso de los productos elaborados. La estandarización es particularmente eficaz para aumentar la productividad. Esta puede dividirse en estandarización de materiales, de piezas, de productos, de máquinas, útiles, herramientas, etc.

Evaluación

Aunque tengamos muchas ideas para mejoras, éstas no se pueden transformar en planes de mejora útiles, a no ser que sean evaluadas en un proceso de análisis, comparación y selección.

Mantener separados la formulación de ideas de la evaluación

Si se critican las ideas en cuando se formulan, el flujo de ideas se para automáticamente. Aunque no es fácil, ha de eliminarse en la medida de lo posible la evaluación crítica para que así se permita la creatividad, esto es tanto más difícil, cuanto la edad es mayor en las personas.

Con el fin de facilitar el proceso de creatividad en la tormenta de ideas hay que CREAR LAS CONDICIONES para que haya una atmósfera de apertura, y esto se facilita de la siguiente forma:

1. Nunca criticar.
2. Aceptar ideas originales, nuevas.

3. Expresar el mayor número posible de ideas.

4. Animar la mejora o el empleo de ideas de otras personas.

A. F. Osborne fue el primero en emplear el término "brainstorming" o lluvia de ideas, él proponía las siguientes doce claves para la formulación de las ideas:

1. Usar la similitud como guía para perseguir cosas parecidas:

* ¿Hay algo similar a esto?

* ¿Qué ideas se pueden desarrollar a partir de esto?

* ¿Has visto algo parecido a esto en el pasado?

* ¿Se pueden tomar prestadas ideas de alguna otra fuente?

* ¿Se puede copiar alguna otra cosa?

2. Añadir, multiplicar, sustraer o dividir.

* Hacerlo más grande

* Hacerlo más pequeño

* Añadir algo

* Hacerlo más fuerte

* Añadir algún otro valor

* Añadir algún otro componente

3. Cambiar la secuencia, invertirla, combinarla

* ¿Qué otras secuencias puede uno emplear?

* ¿Se puede cambiar la secuencia?

* ¿Se puede invertir?

* ¿Se pueden combinar ideas?

* ¿Se pueden mezclar?

* ¿Se pueden unir objetivos?

En la tormenta de ideas, han de tomarse algunas precauciones:

1. Seleccionar un problema que sea específico y de poca envergadura, no general.

2. Ser audaces al seleccionar el problema. No tratar de reducir el porcentaje de defectuosos en un diez por ciento, por ejemplo, hay que aspirar a una reducción del 90%.

3. La solución no debería requerir papel y lápiz. Cuando es necesario resolver un problema haciendo cálculos o escribiendo informes, dicho problema no es oportuno.

4. El problema debe ser fácilmente entendible y explicable.

5. No se debe informar a los participantes sobre el problema antes de la sesión de tormenta de ideas. Si se requiere información de los antecedentes, el informe se debe limitar a lo meramente esencial.

En cuanto a los participantes:

1. Su número es de 5 a 10. Si son pocos se limita la diversidad de ideas y si son demasiados se crea dependencia ("algún otro lo dirá").

2. Reunir personas de historial diferente. El grupo debería comprender un número similar de introvertidos y extrovertidos.

Con respecto al tiempo:

1. La sesión de tormenta de ideas debería durar de media a una hora, pero puede reducirse a diez o quince minutos.

2. Si la sesión dura una hora, se planifica una pausa de cinco minutos y se sirven refrescos para despejar la mente de los participantes.

Organización de una sesión de tormenta de ideas:

1. El facilitador explica las reglas básicas.

2. Después de haber explicado con claridad el problema, el facilitador debería sugerir dos o tres ideas para romper el hielo.

3. Tener a la mano un taquígrafo o una grabadora para recoger todas las ideas. Si se apuntan las ideas en un pizarrón o en una hoja, ayudará a los participantes a visualizarlas.

4. Si se tiene impresión de que los participantes andan escasos de ideas, el facilitador debe alimentar el fuego de la discusión, proporcionando algunas de sus propias ideas o pistas.

5. Si alguien expresa una opinión crítica y empieza a extenderse demasiado, el facilitador debe tocar una campana de advertencia.

6. Si los participantes empiezan a cansarse, el líder deberá recurrir al humor e introducir algún tema relacionado para levantar los ánimos.

7. La mesa de conferencia no deberá ser tan grande que impida una atmósfera de conversación informal.

8. La atmósfera deberá ser armoniosa. La sesión es un éxito si los participantes expresan sus ideas libremente y disfrutan de la ocasión.

Diez reglas para evitar las objeciones

1. Argumento basado en excepciones.

Hay muchos casos en los que la gente razona sobre situaciones abstractas, sin una corroboración cuantitativa.

2. Censuras.

La solución real de un problema requiere que se conozca la verdad total. La palabra japonesa tanpankan significa que una persona que carga con una tabla grande, solamente puede ver un lado del mundo. Emplear siempre la censura para rechazar nuevas sugerencias, es una forma de tanpankan.

3. Pretensiones frívolas.

Cuando lo que se sostiene no lo apoya ningún dato real.

4. Argumento fuera de contexto.

5. La discusión del huevo o la gallina.

6. El llamado argumento del renacuajo.

Hacer afirmaciones de cosas que son anacrónicas o fuera de lugar.

7. Argumentos basados en un supuesto no garantizado.

La gente comete a menudo este error en sus argumentos, suponiendo que algo desconocido es conocido.

8. El argumento "bizco"

Lo que a veces se rechaza son los medios sugeridos para cumplir con el objetivo. Cuando tales objeciones surgen, ha de recordarse que el objetor simplemente llame su atención sobre el defecto que tiene el medio, que el que propone desconoce. Si tenemos esto en cuenta, será de gran ayuda para poder prestar una mayor atención a la esencia de las opiniones opuestas.

9. El argumento rotativo.

Cuando la discusión se da porque se habla de diferentes aspectos de la misma cuestión.

10. Argumento de esquivas.

Son objeciones que se cierran a alternativas de solución. En este caso, confirme cuáles son los puntos de desacuerdo y a continuación guíe la conversación de manera que los dos juntos busquen la manera de eliminarlos. Las personas que recurren a argumentos evasivos tienden a ser trabajadores concienzudos, al mismo tiempo que son unos aprensivos de nacimiento. Por eso, si reduce los problemas y demuestra que está dispuesto a discutirlos de forma seria, esto facilitará la realización.

11. Los hechos son multifacéticos.

El propósito de una discusión no es que una persona abrume a la otra con lógicas y razones. La meta es que cada participante provea datos desconocidos para

la otra parte, consiguiendo así una solución mejor a través del esfuerzo común.

Otra cosa que no conviene olvidar es que el 99% de las objeciones lo son por precaución. Se puede decir que las objeciones son en realidad consejos que solamente por la manera en que se formulan parecen objeciones. Cuando se topa uno con una objeción, hay que considerar si tiene fundamento y si la oposición se refiere al fin o a los medios.

CAPITULO 5: IMPLEMENTACION DE PLANES DE MEJORAS

Propuesta de una mejora

Un plan de mejoras no debe ser abstracto, debe ser específico, debe además de estar integrado en el contexto. El siguiente paso es considerar la eficiencia de la inversión. En este caso, definimos eficiencia de la inversión como el costo de una mejora dividido por los ingresos mensuales de la inversión realizada, esto nos indica cuántos meses tardaremos en recuperar el costo de la inversión: un plan de mejora cuyo beneficio quizás no sea muy grande, pero cuyo período de recuperación sea solamente de seis meses, puede ser rápidamente adoptado.

Superando los hábitos

La gente normalmente se siente más cómoda con los hábitos adquiridos. El abandono de un método conocido, siempre genera resistencia por parte de los que prefieren seguir con él. Debido a que el progreso siempre trae consigo algún grado de desviación con respecto a lo familiar, es necesario que estemos dispuestos a sacrificar nuestros hábitos.

Entender y persuadir

Entender no significa necesariamente actuar. Esto lo entendemos más perfectamente en el caso de los fumadores: podemos explicarle todos los riesgos que implican el fumar como el cáncer de pulmón, etc. pero el concencerlo "per se" no implicará necesariamente que se le quite el

hábito. Podremos convencerlo pero no quitarle el vicio. Lo que dice Shingo es que la gente actúa solamente después de convencerse, y la convicción no se consigue por medio de la razón, sino a través de las emociones. Nos gusta pensar que la gente actuará como nosotros deseamos si logramos hacerles entender nuestro punto de vista, pero casi nunca resulta ser así.

Las discusiones deben conducirse con una actitud de querer sinceramente entender lo que dice la otra parte, de manera que los propios puntos de vista y los de los demás puedan integrarse para lograr una conclusión mejor. Además, es más fácil que los que discuten cambien sus posturas si se dan cuenta de que no tienen razón, que si los otros les señalan sus errores. Parece mentira, pero se requiere mucha capacidad de escuchar, algo de lo que carecemos, y además es señal de madurez. La actitud de querer escuchar a otra persona relaja y tranquiliza, lográndose una comunicación más fácil.

Los ingenieros no se oponen a las mejoras

Según Shingo, existen tres tipos de ingenieros:

1. Ingenieros de mesa: Les gusta exponer sus opiniones alrededor de una mesa de conferencias. Se oponen a las mejoras propuestas basándose en una lógica teórica y razonamientos, pero en realidad no frecuentan el taller.

2. Ingenieros de catálogo: Les gusta revisar catálogos de nuevos equipos y recomiendan la compra de

las máquinas que les gustan, pero, existen alternativas a la compra de equipos listos para usar. Podemos estudiar qué equipo se requiere para el trabajo, preparar diseños y croquis y montarlo en el propio taller, usando las máquinas herramientas disponibles en la planta. Los defectos se pueden eliminar gradualmente, haciendo pruebas y modificaciones in situ. Sin embargo, este tipo de ingenieros, no realizan ningún esfuerzo de este tipo. No les importa gastar diez veces más de lo que costaría fabricarlo en el propio taller. Su única habilidad está en coleccionar catálogos.

3. Los ingenieros "nyet": Esta es una palabra rusa que significa "no", en cualquier planta hay normalmente varias de estas personas que siempre tienen alguna razón para decir que las cosas no funcionarán. Los ingenieros nyet tienden a ser muy educados y de una posición relativamente alta, lo que complica aún más el problema. Cualquier mejora propuesta trae consigo problemas de mayor o menor importancia. Pero si decimos "esto no funcionará" todo el tiempo, nunca conseguiremos progresar.

Otra cosa que hay que tener en cuenta es que la persona encargada de las mejoras no es un acusador: un miembro del staff que verifica una línea de operación no debería actuar de tal forma. Debería actuar como un médico a quien visita la gente por su propia voluntad, buscando la curación.

Mucho se ha escrito acerca de las relaciones humanas, pero las relaciones humanas se basan no en la teoría, sino en el contacto íntimo. Por muy bueno que sea un sistema de dirección, no funcionará adecuadamente si no es lubricado por unas buenas relaciones humanas.

Si nos preguntamos ¿cuál es el incentivo para que los trabajadores japoneses trabajen tan duro?, probablemente la respuesta esté en el empleo de por vida. Pero inclusive antes las mejoras se dan cuando al surgir un problema, el sistema permite que los supervisores o encargados se van a inspeccionar inmediatamente la situación y a hablar con el encargado. A continuación resta que resuelvan juntos el problema junto con la participación voluntaria de los trabajadores. Si en lugar de esto se les reprende por haber dejado que se originara el problema, empiezan a tener tanto miedo a ser reprimidos, que empiezan a ocultar sus errores, errores que vuelven posteriormente en forma de quejas y reclamaciones de los clientes. Parece tan simple, pero este interés interpersonal es la causa del éxito de muchas empresas líderes.

CAPITULO 6: ACTIVIDADES DE TODA LA COMPAÑIA PARA PROMOVER LA MEJORA

Actividades de control de calidad

El control de la calidad lo determinan en realidad los trabajadores, supervisores y encargados que trabajan en el taller. El control total de calidad (CTC) se consideraba como un medio para conseguir un control de calidad en toda la compañía, convirtiéndolo en una responsabilidad de todos los empleados, no sólo de los especialistas en control de calidad. La palabra "total" significa:

1) Expansión horizontal del control de calidad, no sólo al sector de producción sino a todos los departamentos;

2) Expansión vertical del control de calidad que afecta, no sólo a los trabajadores de producción, sino además a la dirección media y superior (el control de calidad se convierte en una actividad tridimensional organizada en una base que cubre la compañía en su totalidad; la calidad directiva que ofrece la dirección superior se considera de importancia vital);

3) Expansión de la noción de calidad no solo en el sentido de la calidad del producto sino también de la calidad del trabajo. El objetivo es aumentar la eficacia de todas las operaciones de la compañía.

Las técnicas del control de calidad son naturalmente de gran ayuda para detectar problemas, pero las técnicas de ingeniería industrial son más efectivas, particularmente cuando se trata de identificar problemas así como formular y evaluar ideas para unas mejoras necesarias.

CAPITULO 6 BLAS FUNCIONES DE LA DIRECCION

Las operaciones de negocios se componen frecuentemente de los cinco siguientes elementos:

- 1) Ingeniería
- 2) Finanzas
- 3) Producción
- 4) Ventas
- 5) Personal

Ingeniería: El departamento de ingeniería tiene que tener la habilidad de diseñar un producto funcional y de producirlo.

Finanzas: Lo primero que se necesita es dinero. Es necesario tener un departamento de finanzas para manejar el dinero.

Producción: Una vez que estén disponibles la habilidad técnica y el dinero, el próximo paso es la producción. Es necesario intercalar entre las finanzas y la producción, un departamento que se encargue del aprovisionamiento de materiales. Ya que esto es una función intermedia, este departamento estará subordinado al de finanzas o producción.

Ventas: El siguiente departamento a instalar es el de ventas. Su propósito es vender los productos manufacturados. Debido a que el propósito final de la producción es la venta, la producción y las ventas deben permanecer en un estrecho contacto.

Personal: Cada uno de estos departamentos funciona con personas. Se necesita un departamento de personal para hacerse cargo de este aspecto del negocio y todos los asuntos relacionados con el personal de los otros cuatro departamentos. Existe una coincidencia parcial y funcional entre el departamento de personal y los otros cuatro.

Las funciones de la dirección

Cada acción se compone de las siguientes siete fases:

1) Motivación, 2) Política, 3) Planificación, 4) Implementación, 5) Control, 6) Monitoreo y 7) Satisfacción.

Ejemplos de las fases siguientes son:

Motivación:

Empezar un nuevo proyecto

Trabajar para mayores beneficios

Política:

Si existe la motivación y la decisión, el próximo paso es establecer una política:

Hacer esto y lo otro

Hacerlo de esta forma

Planificación:

Se planifica y organiza un método para llevar a cabo e implementar la política. Se busca el método mejor y se establecen métodos estándar.

Implementación:

Los procesos y las operaciones se implementan de acuerdo a lo planificado.

Control:

La ejecución no debe ser fortuita, sino bajo riguroso control para que refleje los estándares establecidos.

Monitoreo:

Se supervisa la ejecución y se verifican los resultados para evitar cualquier deficiencia en la implementación, supervisión o control y planificación. Las deficiencias y las lecciones aprendidas se reflejan en el próximo ciclo de planificación.

Satisfacción:

Los resultados de la satisfacción se comparan con la política inicial y se expresa en términos de porcentaje de satisfacción en la obtención de los resultados (es decir, 100% de satisfacción o 70% de satisfacción). Se reaviva la motivación para iniciar el siguiente ciclo.

Si se pone énfasis en la planificación, una vez concluida ésta, no debería ser necesario volverla a hacer durante algún tiempo ya que el control resulta fácil. El sistema de control puede ser simple y el esfuerzo preciso para implementarlo reducido. Se puede esperar un beneficio de producción de alto nivel. Se pueden realizar mejoras drásticas, incrementando la capacidad de producción. Debido a que el control es fácil, se consiguen beneficios de producción grandes. Hablando en

general, se requiere un esfuerzo y un costo algo mayor para aumentar el nivel de planificación (es decir, cambiando la disposición de la maquinaria o estableciendo estándares de proceso). En síntesis: ES DE VITAL IMPORTANCIA MEJORAR LA PLANIFICACION SI QUEREMOS AUMENTAR LOS BENEFICIOS DE LA PRODUCCION.

CAPITULO 7: RESPETO A LA DIGNIDAD DE LA PERSONA

Como ya se ha indicado desde el inicio de la tesis, la dignidad de la persona es una variable que durante mucho tiempo se mantuvo ignorada. Aunque es una variable importante, además de otros motivos resultaba ser muy molesta por lo difícil de cuantificar, y cuando se ha tratado de cuantificarse para incluirla en un modelo matemático, siempre se han tenido que recurrir a simplificaciones de los mismos para que los modelos puedan seguir siendo manejables perdiéndose con cada suposición simplificadora su utilidad.

Debe emplearse un máximo esfuerzo para cambiar a los trabajadores tipo X (cfr. teoría de Douglas Mc Gregor) en trabajadores tipo Y. Esto puede requerir tiempo.

Para aliviarse la carga de las tareas físicas, el trabajo manual debe reemplazarse por máquinas mejorando además los movimientos del trabajo. Deben instalarse agresivamente mecanismos de seguridad para aliviar la fatiga mental. Deben emplearse inspecciones en el origen y sistemas Poka-Yoke para aliviar la tensión y concentración mental exigidas a los trabajadores. Debe mejorarse el entorno de trabajo y para esto:

- 1) Emplear el sistema de empleo de por vida.
- 2) Elevar la edad de retiro obligatorio o proveer ocupaciones para los más veteranos.
- 3) Promover si es posible sindicatos o consejos de compañía, no sindicatos de sector. Nombrar a trabajadores

para participar en los consejos de dirección, de forma que los trabajadores comprendan las políticas de la compañía y éstas tengan en cuenta los puntos de vista de los trabajadores. Las compañías deben dirigirse con la cooperación entre directores y trabajadores.

4) Estimular la adquisición de acciones de la compañía por parte de los trabajadores y pagar dividendos.

5) Participar beneficios con los empleados una vez cada tres meses, por ejemplo. Distribuir la información contable y establecer un programa de participación en beneficios después de consultar con los trabajadores.

6) Establecer un departamento para trabajadores veteranos próximos al retiro, o ya retirados, en un local agradable. Algunas ideas de la función de estos departamentos podrían ser: desarrollo de nuevos productos, mejora de productos existentes, desarrollo y fabricación de máquinas y plantillas a utilizar en actividades de mejora, fabricación y reparación de dados y piezas, programas educacionales para nuevos empleados, programas de seguridad o embellecimiento de la fábrica, etc.

Lo que se persigue puede resumirse en que el esfuerzo debe orientarse no sólo a un aspecto técnico sino en enriquecer las vidas de los trabajadores más allá del entorno de trabajo.

Uno de las propuestas de Shigeo Shingo consiste en que los esfuerzos, por ejemplo, se realicen de tal forma que permitan una semana laboral de cinco días y 30 horas, de tal forma, que si entra a las 7:30 AM pueda salir a las 2:30 PM incluidos los descansos. Un trabajador que deja su trabajo a las 2:30 PM tiene tiempo más que suficiente para estar con sus hijos y hablar con todos los miembros de su familia, esto es, hacer una vida familiar completa.

Otro punto es el de proporcionar un entorno social apropiado. Promover la propiedad de viviendas y ayudar a la compra de terrenos a bajo costo mediante programas de ayuda o afianzamiento de préstamos a largo plazo. Proporcionar programas de educación escolar (incluyendo préstamos a largo plazo). Proveer cuidados sanitarios buenos y baratos. Organizar cooperativas para la adquisición de equipamiento doméstico, vestimenta, etc. Establecer un sistema de pensiones manejado por los propios trabajadores de la compañía o en todo caso con su decisiva participación. Proveer facilidades de asueto y recreo (no necesariamente gratuitas) cerca de las áreas de vida habitual: piscinas, canchas de tenis, campos de futbol o base ball, salas de juegos, etc.

Estas instalaciones, cuya pretensión debe mejorar la comunicación en la comunidad local, deben estar siempre en disposición de uso y ser baratas para los empleados. El costo de tales instalaciones debe ser pagado en parte

por la compañía y en parte por los empleados. Aunque estas propuestas se alejan del área de producción propiamente dicha, uno debe darse cuenta de que el respeto a la dignidad de la persona en el área de trabajo no es la única aunque tenga una importancia notable, pero también debe prestarse atención al lado humano de los trabajadores más allá del área de trabajo, pero esto último tampoco puede hacerse fácilmente a menos que la productividad en el área de trabajo mejore dramáticamente.

CAPITULO 8: IMPERATIVOS HUMANISTICOS Y CAMBIO TECNOLOGICO EN LOS SISTEMAS MODERNOS DE MANUFACTURA

Las dimensiones del trabajo nos indican cada vez más que una perspectiva humanística en administrar el cambio tecnológico es crucial, la experiencia nos muestra que el desarrollo se facilita grandemente por la libertad y la autonomía del trabajo en particular.

Analizando la naturaleza del trabajo, percibimos que el enfoque sistemático con un propósito y organizado hacia el trabajo es específico y único en la actividad humana. El trabajo es una actividad del ser humano y una parte esencial de la humanidad, además de ser un bien.

Existen otras dimensiones del trabajo, una es que el trabajo es una extensión de la personalidad y además es un lazo social y comunitario, es también un medio de satisfacer nuestra necesidad de pertenencia a un grupo y de una relación significativa con respecto a otros. Proporciona los recursos necesarios para crear los trabajos del mañana y con ellos la vivienda (en el sentido de capacidad de vivir) de los futuros trabajadores.

La alienación del trabajo surge cuando la tecnología fragmenta el trabajo, a la persona total, esto es, sus músculos, sentidos, inteligencia y cuando no están bien comprometidas estas habilidades.

El cambio tecnológico crea su propia división del trabajo y su propio grado de especialización que es requisito para el funcionamiento óptimo de la máquina, no del trabajador individualmente considerado. La alta tecnología tiene una importancia inconmensurablemente cualitativa ya que crea la visión para la innovación y el sentido del espíritu emprendedor.

La administración puede visualizarse más modernamente como un vehículo de cambios profundos en actitudes, valores y comportamiento; es el vehículo para articular el conocimiento y los principios de la innovación exitosa.

Las nuevas esperanzas y demandas de los trabajadores, basados en una visión humanística y holística del mundo del trabajo, están en contra de las condiciones de trabajo y prácticas administrativas de muchas organizaciones.

Si el proceso de producción se organiza de tal forma que permita al hombre realizarse por sí mismo, entonces puede humanizarse la naturaleza externa, esto es, mediante la transferencia sistemática de ese proceso de producción hacia la esfera de la satisfacción de la necesidad, que a su vez, facilita la realización del ser humano.

La tecnología puede ampliar la división del trabajo y así contribuir aún más a la alienación, pero la división del trabajo no es solamente una necesidad técnica para la

eficiencia sino también un imperativo organizacional para el control, la coordinación, planeación y efectividad. Esto es verdad no solamente en una producción capitalista, sino también en un tipo de producción con esquemas socialistas. Si la génesis de la alienación es la división del trabajo y su respectiva especialización y fragmentación de tareas y papeles, entonces la alienación puede darse en sistemas de producción en países con esquemas socialistas o comunistas.

R. Walton, un investigador en diseño del trabajo, observa que la alienación se expresa mediante ausentismo, rotación de empleados, pasividad y falta de atención hacia el trabajo. En otros casos, se expresa por medio de ataques activos como basura tirada adrede, sabotajes, asaltos, amenazas de bombas y otras interrupciones del trabajo. Todas estas tendencias se mencionan en los medios de comunicación pero hay algunas que no se reportan, como violencia contra la propiedad y personas.

Estos actos de sabotaje y otras formas de protesta son manifestaciones de un conflicto entre las actitudes cambiantes de los trabajadores y la inercia organizacionales. Las expectativas de los trabajadores están en conflicto con las demandas, condiciones y recompensas de la organización en por lo menos seis formas importantes:

1. Los empleados quieren desafíos y desarrollo personal, pero el trabajo tiende a estar simplificado y

las especialidades tienden a usarse repetidamente en asignaciones de trabajo. Este patrón explota en las habilidades chatas de un trabajador, mientras que limitan sus oportunidades de desarrollo.

2. Los empleados quieren estar incluidos en patrones de influencia mutua: quieren trato igualitario. Pero las organizaciones se caracterizan por muchos niveles jerárquicos, diferencias de status, y cadenas de mando.

3. El compromiso del empleado hacia una organización está cada vez más influenciado por el interés intrínseco del trabajo mismo, la dignidad humana considerada por la administración y la responsabilidad social reflejada en los productos de la organización. Todavía las prácticas de la organización resaltan las recompensas materiales y la seguridad del empleado y niegan otras cosas concernientes a los empleados.

4. Los empleados quieren más atención hacia los aspectos emocionales de la vida de la organización, tales como una autoestima, apertura entre la gente y expresiones de amistad. Todavía las organizaciones resaltan la racionalidad y raras veces legitiman la parte emocional de la experiencia organizacional.

5. Los empleados se están volviendo menos orientados hacia la competencia, sin embargo, los directivos continúan planeando patrones para hacer carrera, organizando el trabajo y diseñando sistemas de recompensa

como si los empleados valoraran la competencia de la misma forma en que lo hacían anteriormente.

L. Yablonsky usa el término Robópatas para enfatizar el grado de alienación de los trabajadores, las características que ayudan a definir al robópata son:

1. Ritualismo: Los robópatas tienen patrones de comportamiento ritualísticos en el contexto de normas y reglas definidas y aceptadas en forma precisa. Tienen una habilidad limitada para ser espontáneos, de ser creativos, de cambiar la dirección o modificar su comportamiento en términos de condiciones nuevas.

2. Orientación al pasado: Los robópatas están orientados al pasado más que a la situación del aquí y el ahora, o el futuro. Responden a menudo a situaciones y condiciones que ya no son relevantes o funcionales. Si están encerrados dentro de un patrón de comportamiento, seguirán el mismo camino no obstante éste pueda ser autodestructivo.

3. Conformidad: En una máquina social productora de robópatas, la conformidad es una virtud. Un comportamiento nuevo o diferente se ve como extraño y amenazante. Se sospecha de todo lo que huele a originalidad.

4. Involucramiento de la imagen: Los robópatas están orientados a otros más que a sí mismos. Siempre tratan de ser superconformistas. Su comportamiento está dominado

por la imagen o requerimientos de status establecidos por la sociedad circundante.

5. Compasión: Si la compasión engloba una preocupación por los intereses humanos de los otros a costa del propio interés, los robópatas son acompasivos: parecen no tener valores compasivos o consciencia social. Su papel y su propia actuación se vuelve más importante sobre las preocupaciones de los demás.

6. Hostilidad: La hostilidad, tanto la visible como la oculta es un comportamiento significativo en los robópatas. La gente incapaz de expresar su espontaneidad y creatividad desarrolla bolsas de veneno represivas y llenas de odio.

7. Autoadecuación: El comportamiento robopático es superconformista. Nunca se desvía o está contra las normas de la máquina social. El comportamiento de los robópatas siempre es el correcto o está considerado así por ellos mismos.

8. Alienación: Independientemente de las apariencias generales de la "unidad" el robópata típico está en efecto alienado por sí mismo, por otros, y por el ambiente natural.

La alienación en retrospectiva

C. Argyris, estudiando la alienación de los trabajadores en organizaciones industriales típicas, encontró casos de trabajadores que no estaban alienados porque sus necesidades personales y predisposiciones,

hacían que se sintieran a gusto en una situación altamente autoritaria que demandaba poco de ellos, ya sea porque no buscaba desafíos y autonomía o porque respetaba en forma genuina la autoridad y el status.

En términos generales, ha sido difícil determinar, por ejemplo, si un trabajador alienado era una persona sin logros y necesidades de auto-actualización cuando ingresó a su primera organización o si se volvió así a resultas de experiencias de trabajo crónicamente frustrantes, en el siguiente apartado se consideran los cambios que son necesarios para administrar las nuevas tecnologías y el cambio tecnológico de los sistemas modernos de manufactura de un modo más humanista.

CAPITULO 9: NUEVAS TECNOLOGIAS EN LOS SISTEMAS DE MANUFACTURA: LA PERSPECTIVA "MEJOR" DE LUND Y HANSEN

La tecnología avanzada nos presenta un nuevo número de oportunidades para desarrollar formas organizacionales nuevas y más humanas y trabajos que conduzcan a una alta calidad de la vida del trabajador. En primer lugar, no obstante trae nuevos problemas también, la tecnología altamente sofisticada posee una flexibilidad no reconocida en relación al sistema social. En segundo lugar, la nueva tecnología incrementa tanto la dependencia de la organización en los individuos como en los grupos y requiere más compromiso individual y responsabilidad autónoma en el centro de trabajo.

Actitudes hacia el cambio

Lund y Handsen observaron un número de sentimientos negativos posibles que pueden encontrarse durante el cambio a un sistema de tecnología de comunicaciones automatizado y basado en la computadora:

1. Dudas personales sobre la habilidad del desempeño, debido a brechas existentes en habilidades o conocimientos.
2. Pérdida del sentido de control sobre aspectos significativos del trabajo.
3. Desconfianza del uso que los superiores podrían hacer de los sistemas que pudieran llevar mucha más información sobre el desempeño de los empleados.

4. Pérdida de oportunidad del crecimiento y avance personal.

5. Antagonismo hacia nuevos parámetros del trabajo.

6. Miedo a ser desplazados.

Estas preocupaciones son universales y no están confinadas exclusivamente a los empleados. Cada punto es igualmente aplicable al staff de empleados y mandos intermedios.

Por otro lado, estos investigadores observaron que con una planeación consciente y sensitiva, la adopción de estas nuevas tecnologías pueden ser una fuente de reacciones muy positivas debido a:

1. La capacidad de usar habilidades e inteligencias de alto nivel en el trabajo.

2. Incremento del sentido de control y de involucramiento en un trabajo más amplio.

3. Una visibilidad más alta de la individualidad y del reconocimiento en las organizaciones más pequeñas.

4. Oportunidad de aprender, crecer y avanzar.

5. Descansar al hacer a un lado trabajos peligrosos, difíciles y deshumanizantes.

6. Oportunidad de ver los resultados de las contribuciones a la salud económica de la compañía.

Lund y Hansen han observado que aquellos que experimentan los impactos negativos del cambio tecnológico pueden llegar a ver a la tecnología como un enemigo. Sus problemas están causados por decisiones

humanas, tomadas en el contexto de políticas corporativas y públicas, que dictan cómo debe aplicarse la tecnología y cómo debe tratarse a la gente. Sus enemigos deberían ser más bien aquellos que consciente o inconscientemente, fallan en prever las consecuencias del cambio tecnológico. Su queja tiene que ver con aquellos que fracasan en redefinir la naturaleza de los trabajos, sus papeles y sus relaciones organizacionales a la luz del cambio imperado. En lugar de culpar a la tecnología, los empleados deben esperar que los directivos a cada nivel deban de trabajar con los tecnólogos para asegurarse de que la tecnología se use en forma creativa y constructiva para ampliar las capacidades del ser humano.

¿Cuál debe ser la parte del trabajo que motive a una persona a trabajar a su máximo nivel de capacidad? Debemos explotar la extraordinaria flexibilidad de la tecnología de la computadora y las telecomunicaciones para diseñar sistemas de personas, máquinas e información en el cual las capacidades tanto de los humanos como de las máquinas se maximicen. Para lograr esto se requiere que la administración establezca políticas para diseñar y seleccionar la tecnología que reconozca los atributos y las necesidades de las personas. La política corporativa debería requerir que los gerentes y los ingenieros pusieran atención a los principios de un buen diseño antes de que el diseño del "hardware" esté irrevocablemente congelado.

Además, debe haber oportunidades dentro de la compañía para que haya una mayor participación individual, crecimiento y avance personal concurrente al cambio tecnológico. Este principio se relaciona parcialmente con el diseño del trabajo, pero mira más allá del diseño de sistemas de producción industrial, mira hacia la necesidad de una cultura corporativa en la cual se consideran estos valores esenciales para que la compañía sea saludable.

Deben incluirse otros aspectos a revisar aparte de la evaluación puramente técnica de la adecuación de la compañía para el cumplimiento de una tarea determinada, la planeación de la tecnología debe incluir principios para el diseño y la selección de procesos consonantes con las necesidades de las personas que van a realizar el trabajo con esa tarea. Si están involucrados los cambios organizacionales, los planes deben proporcionar la reorientación de las relaciones organizacionales o la reasignación de las personas. Adaptar la tecnología a las necesidades humanas es parte del proceso de planeación.

Los ingenieros y los diseñadores de máquinas son clave para la naturaleza del trabajo en las nuevas fábricas automatizadas ya que diseñan los trabajos cuando diseñan los sistemas de producción. Inclusive la gente capacitada técnicamente está rara vez entrenada para apreciar el valor del diseño de las máquinas de tal forma

que los trabajos de los empleados asociados con él tengan un contenido significativo y además recompense.

Relaciones

La calidad de las relaciones humanas en las compañías que emplean tecnología de manufactura avanzada dependerá en qué tan bien diseñado está el sistema total de gente, máquinas e información.

Los resultados del cambio tecnológico en esta dimensión están mezclados. Lund y Hansen observaron que habrá una menor cantidad de personas en las plantas, de tal forma que el potencial de aislamiento será mayor, al estar cada uno como responsable de un segmento del sistema. Las comunicaciones tenderán a ser remotas más que cara a cara. La naturaleza del trabajo cambiará de ser una actividad física a monitorear y realizar actividades mentales. Los trabajadores tendrán un menor poder colectivo.

Por otro lado, Lund y Hansen establecen que puede haber aislamiento físico, pero también puede haber una interacción y una interdependencia sustancial. Lo que una parte del sistema haga tenderá a influir directamente el desempeño de otras partes del sistema. Los trabajadores estarán monitoreando máquinas en lugar de estarlas controlando físicamente, esto permitirá a los trabajadores ser más móviles, ayudar a otros en momentos de crisis, consultar decisiones con supervisores y actuar como participantes en un equipo. La dirección podrá

promover un espíritu de equipo mediante asignaciones de trabajo flexibles o rotativas, programas de entrenamiento común, sesiones de grupo para la solución de problemas y el acceso a una red de comunicaciones.

Stress y Tecnología en el trabajo

El stress en el trabajo se ha convertido en una variable importante para la administración y el comportamiento organizacional. Los individuos que experimentan mucho stress en el trabajo tienden a ser menos productivos, tienden a tener más accidentes laborales, a estar ausentes o a llegar tarde con más frecuencia, y lo mismo acontece con el abuso de las drogas o el alcohol sin dejar pasar desde luego la renuncia a la organización.

LAS ORGANIZACIONES EN BUSQUEDA DE LA EXCELENCIA CUIDAN LA SALUD Y EL BIENESTAR DE SUS TRABAJADORES.

Tecno-stress

El Tecno-stress es una condición resultante de la incapacidad de un individuo o de una organización para adaptarse a la introducción y operación de la tecnología nueva. Las variables más importantes que afectan la probabilidad del tecno-stress son la edad del usuario, experiencia anterior con la tecnología, control percibido sobre las tareas nuevas y el clima organizacional.

El tecno-stress tiene un impacto negativo ya que reduce la capacidad de procesar la información en forma precisa, disminuye el tiempo de respuesta a las demandas

generadas por la computadora y rompe las pausas naturales del descanso que caracterizan los patrones normales del trabajo, finalmente resulta en un comportamiento que limita la utilidad de la tecnología.

El interés en el stress organizacional ha crecido notablemente en los últimos años y el desempeño, la rotación, y el ausentismo han sido incluidos con frecuencia como consecuencias organizacionales en modelos de stress. Se han estudiado también muchas variables organizacionales en relación al ausentismo. Se han reportado correlaciones significativas entre las características del trabajo tales como la autonomía, la responsabilidad, la variedad de tareas, el conflicto de papeles, la ambigüedad y sobrecarga, la subutilización de las habilidades, las inadecuaciones de los recursos y el ausentismo. Algunas de estas variables organizacionales están relacionadas con el tecno-stress también.

Cambio tecnológico y stress

Con el incremento del cambio tecnológico, la participación, la interacción, la planeación y la regulación se convierten en aspectos claves, cada uno con su respectiva frustración. No hay que olvidar tampoco que la infraestructura y la superestructura de las organizaciones que administran el cambio tecnológico también producen stress.

Los diseños de las infra y superestructuras determinarán el grado del conflicto en los papeles y la

ambigüedad del papel experimentada por un individuo que trabaja en una organización. Más aún, ya que los cambios tecnológicos pueden producir cambios en las relaciones interpersonales, procesos de grupo y en el estilo de liderazo, estos también tienen el potencial de crear stress.

No podemos irnos tampoco al otro extremo: también se necesita un cierto nivel de stress para alcanzar logros, para la creatividad, innovación y la función emprendedora. El grado de stress que lo pone a uno en estado de desequilibrio puede provocar que uno reexamine sus propios valores, metas, prioridades, planes, esperanzas, marco de referencia y orientaciones y para explorar nuevos caminos para un ajuste creativo al ambiente propio. En tal caso, entonces, una homeostasis no es el estado ideal del ser y el stress puede ser el catalizador para un nuevo comenzar, una nueva búsqueda para el significado de los valores creativos, experienciales e instrumentales.

CAPITULO 10: HUMANISMO Y CAMBIO TECNOLOGICO

Los centros de alta tecnología tales como el Valle del Silicio (Silicon Valley) están proporcionando evidencia de que las industrias de alta tecnología tienden más a reducir los requerimientos globales de habilidades que a incrementarlos o a mejorarlos.

Mientras algunos ejecutivos, gerentes, ingenieros y programadores disfrutan trabajos desafiantes y enriquecedores, la gran mayoría de los empleados de alta tecnología aprietan botones, observan medidores y monitorean equipo, trabajos que son tan aburridos y mundanos como de cualquier otro tipo de trabajo conocido.

El resultado de todo esto es, trabajos y ambientes de trabajo en el cual las personas no utilizan sus inteligencias, un ambiente en donde las computadoras, robots y otras formas de alta tecnología realizan el "pensar" y las personas son solo apéndices del proceso. Tal ambiente produce abuso de drogas y alcohol y un stress epidémico del trabajo. La disminución en el uso de la inteligencia se ha vuelto la dimensión más nueva de la alienación tecnológica, de acuerdo con Benson.

Actualmente estamos emergiendo con una perspectiva que no solo amplía las dimensiones positivas del cambio tecnológico y minimiza sus efectos negativos, llamémosle, la perspectiva humanística. El humanismo es una filosofía que resalta la dignidad y el valor de la persona, así

como su capacidad de auto-realización mediante la razón. La tecnología le permite al trabajador que realice y termine su trabajo sin consideración de su dignidad, valor y capacidad. La tecnología debe facilitar la comunicación, que es un elemento clave del humanismo, la necesidad psicológica sobre el control del ambiente de trabajo y la actualización de los valores humanos.

El humanismo industrial: Un credo administrativo contemporáneo

El humanismo industrial está compuesto de una serie de suposiciones sobre la naturaleza del hombre y el aspecto externo de la "condición humana". Los humanistas industriales, de acuerdo a Scott y otros:

1. Presuponen la dignidad del hombre más la necesidad de proteger y cultivar la personalidad en una base igual más que jerárquica.

2. Supone que hay una tendencia estable en la condición humana hacia la perfectibilidad del hombre.

3. Suponen que los beneficios organizacionales son básicamente los beneficios de la gente y que los beneficios (o satisfacciones) que fluyen de estos beneficios deben distribuirse tan rápido como sea posible a aquellos responsables de las nuevas tecnologías.

4. Suponen que aquellos que están en organizaciones deben ser, en último término, la fuente del consentimiento para aquellos que realizan las políticas y establecen los controles.

5. Suponen que el cambio en las organizaciones debe ser el resultado de una consciencia total de las alternativas y del consenso de los participantes.

Desde el punto de vista de la postura de la dirección, esto significa que la democracia debe reemplazar a la autocracia (guardando las proporciones), debe haber mayor flexibilidad en la organización, debe buscarse una mayor igualdad del poder y el clima organizacional debe diseñarse de tal forma que que satisfaga una gama amplia de necesidades. Las organizaciones deben diseñarse para ayudar a cada uno a realizar sus deseos de auto-determinación y auto-realización. Los planes del humanismo industrial para el cambio organizacional descansan en suposiciones acerca de la naturaleza del hombre y la dirección del movimiento de las fuerzas sociales.

Algunos de los elementos más importantes del humanismo se verán en las siguientes secciones.

Examinando algunos postulados de personajes importantes sobre este tema, y aunque no todo lo que postulan puede ser positivo, lo que se presenta es la mejor parte considerada en forma depurada, ya que siendo la naturaleza humana una, no puede haber distintas visiones sobre la misma que sean igualmente correctas. El principio vigente es el que está definido por la ley natural y para evitar escribir más profusamente sobre el

tema, se hace un comentario general a cada una de las doctrinas expuestas.

Perspectivas sobre el humanismo

Erich Fromm

La compasión o empatía significa que no podemos manipular a un ser humano como si fuera un objeto, no podemos visualizarlo como un apéndice de una máquina y no podemos comprometer sus necesidades de autoestima, amor, pertenencia y auto-actualización cuando introducimos y administramos el cambio. La dinámica del cuidado está explícita en los principios de la compasión. Esta dinámica del cuidado está ahora emergiendo como un factor crítico en la excelencia del liderazgo.

La crisis de identidad de nuestro tiempo está basada esencialmente en la alienación creciente del hombre, y se puede resolver solamente en el hecho de que el hombre vuelva de nuevo a la vida, se vuelva de nuevo activo. El hombre de la organización tiene una crisis de identidad y esto se expresa en el hecho de que vale más "tener" que "ser", el hombre organizacional tiene poder.

El cambio tecnológico debe ampliar las necesidades que maximicen la propia autenticidad y al mismo tiempo debe proveer a las necesidades básicas del nivel de supervivencia. No se puede comprometer la propia identidad por una falta de integridad en los agentes del cambio que administran ese proceso.

Las categorías del pensamiento de la edad industrial son la de la cuantificación, abstracción y comparación, de pérdidas y utilidades, de eficiencia e ineficiencia. Las culturas de gran parte de las organizaciones crean rituales, historias y héroes culturales, símbolos y artefactos que se unen con un fin utilitario. Las necesidades de supervivencia se expresan en nuestra búsqueda por el sentido, la autenticidad, la autonomía y el desafío, temas no promovidos por la mayor parte de las culturas organizacionales.

Víctor Frankl

Actualmente, la voluntad de sentido se frustra con bastante frecuencia. A esto se le llama el vacío existencial que deriva de las condiciones siguientes. A diferencia del animal, el hombre no está dirigido por fuerzas e instintos para hacer lo que deba hacer. Y en contraste con el hombre de los primeros tiempos, ya no está orientado por las tradiciones y valores para hacer lo que deba. Ahora, ni sabe lo que debe o no debe hacer, inclusive algunas veces no sabe ni siquiera lo que desea hacer. Sin embargo, ser humano significa luchar para cumplir y realizar valores, significa vivir en el campo polar de la tensión establecida entre la realidad y los ideales; el hombre vive por ideales y valores. La existencia humana no es auténtica a menos que se viva en

términos de auto-trascendencia. La auto-trascendencia es la esencia de la existencia.

Hoy en día, se están diseminando ampliamente el aburrimiento y la apatía. Así son los sentimientos de vacío y falta de significación. A lo que Frankl llama el vacío existencial -crisis del sentido- así se le puede llamar a la neurosis de masas de hoy. Se necesita una filosofía adecuada de la vida para superar el vacío existencial.

El deseo de sentido se expresa en sí mismo en el valor de las potencialidades del individuo. Uno puede encontrar el sentido de los valores creativos, experienciales y de actitudes. El primero implica una actividad interesante con un propósito en el trabajo, una actividad satisfactora intrínsecamente donde están involucrados la autonomía, el sentido de logro, la auto-actualización, el potencial de aprendizaje del trabajo y la dignidad, orgullo e identificación del trabajo. El cambio tecnológico debe monitorearse para ver qué cambios en los elementos de esta categoría de valor están definidos en el diseño del trabajo. Los valores experienciales implican experiencias de sentido, interés y con un cierto propósito: las interacciones que proporcionan una forma de alcanzar reconocimiento, amistad, sentimientos de felicidad, percepción positiva del papel desempeñado, moral alta en el trabajo, necesidades de afinidad, un sentimiento de identidad con

las normas de trabajo en grupo y los sentimientos y emociones positivos que surgen de tal interacción (amor, belleza, verdad, confianza y armonía). El cambio tecnológico puede afectar también estos elementos en esta categoría de valor cambiando las experiencias de trabajo, percepción del papel, patrones de interacción, normas de trabajo en equipo. La categoría de los valores de actitud está asociada con el stress, la frustración, alienación y la crisis del síndrome del Shock del Futuro, adversidad y crecimiento mediante episodios de crisis. Estos momentos de stress del trabajo y estos sentimientos de alienación deben ser capaces de proporcionar experiencias de crecimiento y de activar el deseo de sentido. El cambio tecnológico, debido a su velocidad, alcance y magnitud, puede producir tecno-stress y un sentimiento de alienación.

Abraham Maslow

El crecimiento, la auto-actualización o la auto-trascendencia, son características humanas innatas de acuerdo a la filosofía humanística y la psicología. Normalmente, una persona lucha por realizar sus potenciales. El modelo de motivación de Maslow, que conjunta las necesidades humanas en forma de jerarquía, indica que las necesidades de más alto nivel del individuo son la pertenencia, el amor y la estima (tener el sentimiento de que uno es útil y de que su vida vale),

y finalmente, la necesidad de auto-actualización. La auto-actualización se manifiesta en sí misma en un deseo de auto-satisfacción por poder actualizar todas las potencialidades. Algunas características de una persona auto-actualizada están identificadas por Maslow y citadas por Elías y Merriam:

1. Están orientadas realícticamente.
2. Se aceptan a sí mismos, a otras personas y al mundo natural para el que están.
3. Son espontáneas en el pensamiento, en sus emociones y en su comportamiento.
4. Están centradas en el problema más que auto-centradas en el sentido de que son capaces de brindar su atención a un trabajo, un deber o una misión que puede ser difícil para ellos.
5. Tienen necesidad de la privacidad y aún la buscan en cuando se presenta la ocasión necesitándola por estar en periodos de concentración intensa en materias de interés para ellos.
6. Son autónomos, independientes, y son capaces de permanecer sinceros consigo mismos a pesar de que se les rechace o de que sean impopulares.
7. Tienen una frescura continua de la apreciación y la capacidad para permanecer en contemplación una y otra vez ante los bienes básicos de la vida como lo son un crepúsculo, una flor, un niño, una melodía, una persona.

8. Con frecuencia tienen experiencias "místicas" u "oceánicas" sin ser necesariamente de carácter religioso estas experiencias.

9. Sienten una identificación con el ser humano como un todo en el sentido de que se preocupan no solo con el bien de sus propias familias inmediatas, sino también en el bienestar del mundo como un todo.

10. Sus relaciones íntimas con unas pocas pero específicas personas que aman tienden a ser profundas y muy emocionales más que superficiales.

11. Tienen una estructura del carácter muy democrática en el sentido de que juzgan a las personas y siendo amistosas sin hacer acepción de raza, status y religión sino más bien en la base de que son otras personas y hay que tratarlas como individuos.

12. Tienen una ética altamente desarrollada.

13. Se resisten a una conformidad total con la cultura.

Desarrollar las necesidades auténticas de la persona tales como la auto-estima, pertenencia, auto-actualización, amor, creatividad, seguridad y supervivencia es importante para la excelencia y el crecimiento de la persona. La tecnología debe servir estas necesidades auténticas. Si se trastocan estas necesidades, la tecnología produce alienación y stress en el trabajo y si se crean necesidades sintéticas, la tecnología diluye la esencia del individuo. De hecho, la

auto-actualización está basada en la excelencia ética y moral y el cambio tecnológico debe ser compatible con esta necesidad para que se puedan desarrollar las potencialidades de cada uno.

CAPITULO 11: EL HUMANISMO Y LA DIRECCION

De entrada tenemos, y con lo visto anteriormente que por una parte se tienen imperativos humanísticos y por otra imperativos tecnológicos que en principio pueden oponerse como puede verse a continuación:

Imperativos Humanísticos Imperativos Tecnológicos

Libertad y autonomía	Especialización del trabajo
Individualidad y potencialidad	Racionalidad técnica
Valores	Predecibilidad de resultados
Auto-actualización	Control sobre el flujo de trabajo
Percepción de totalidad	Secuencias programadas
Responsabilidad y humanidad	

.. Estabilidad de los Sistemas

Deseo de sentido	Orden y Conformidad
Dinámica del cuidado	Estandarización
Identidad e Integridad		Formalización

Con el fin de evitar escribir más sobre el tema, el lector interesado en profundizar el motivo de estos conflictos los puede encontrar en Scott, citado al final de esta parte I.

Las perspectivas humanísticas gerenciales

Las suposiciones y lo que se ha escrito sobre lo que es el humanismo, tienen muchas implicaciones en la estrategia administrativa:

1. Los gerentes no deben limitar su atención solamente a los parámetros de la tarea y de los

principios de diseño de trabajo sino también a las necesidades, valores y expectativas de los trabajadores.

2. El gerente debe diseñar un cierto contrato psicológico para el trabajador: debe enfocarse hacia su sentido de identidad, auto-estima, auto-actualización, sentido de pertenencia, y hacia un crecimiento espiritual y cognoscitivo.

3. Los gerentes deben aceptar el trabajo en equipo como una realidad y darle más importancia a los incentivos grupales más que a los individuales.

4. El papel del gerente debe cambiar, de estar orientado a la planeación, organización y control a ser un facilitador de las metas individuales y grupales. La dinámica del cuidado hacia las necesidades del trabajador, valores, expectativas y sentimientos emergen como una ética para la excelencia directiva. La iniciativa para el trabajo descansa en el trabajador.

5. Los directivos deben estimular un estilo participativo de administración sobre la autoridad jerárquica y la cadena de mando.

6. Los gerentes pueden utilizar incentivos morales para ampliar y desarrollar la auto-estima, valor y la excelencia ética que son fuentes del poder individual.

7. Los gerentes deben diseñar el trabajo de tal forma que sea intrínsecamente desafiante y significativo mediante estrategias de enriquecimiento del trabajo con

el fin de desarrollar un sentimiento de orgullo y auto-estima entre los mismos trabajadores.

8. Los directivos, finalmente, deben revisar el sistema de incentivos del trabajo, dando más importancia a los incentivos intrínsecos y a lo que se define como "la alegría del trabajador es su propia recompensa" si no se hace así, el trabajador no dejará de ser un mercenario al servicio del mejor postor. El contrato psicológico involucra el intercambio de oportunidades para obtener recompensas intrínsecas (satisfacción por los logros y el aprovechamiento de las habilidades personales) con el fin de obtener un desempeño de alta calidad y creatividad. Esto, por definición, crea un involucramiento moral más que económico.

Estas estrategias, si se implementan, pueden reducir la incidencia de la alienación en la administración del cambio tecnológico.

Las mayores suposiciones sobre el complejo de que consta una persona, según Schein, son las siguientes:

1. El hombre no es sólo complejo, sino altamente variable; tiene muchos motivos que están ordenados en cierto orden jerárquico de importancia para él, pero esta jerarquía está sujeta a cambio de tiempo en tiempo y de situación a situación; más aún, los motivos interactúan y se combinan en patrones complejos (por ejemplo, ya que el dinero facilita la auto-actualización, para algunos, las

luchas económicas son equivalentes a la auto-actualización).

2. El hombre es capaz de aprender motivos nuevos a través de sus experiencias organizacionales, y se tiene por tanto que su patrón de motivación y el contrato psicológico que estableció con la organización es el resultado de una interacción compleja entre las necesidades iniciales y las experiencias organizacionales.

3. Los motivos del hombre en las diversas organizaciones o diferentes sub-partes de la misma organización, pueden ser distintas: la persona que está alienada en la organización formal, puede verse satisfecha en cuanto a sus necesidades sociales y de auto-actualización en el sindicato o en la organización informal; si el trabajo en sí mismo es complejo, como por ejemplo el de un gerente, algunas partes del trabajo pueden comprometer unos motivos y otras otros.

4. La persona puede involucrarse productivamente en organizaciones en base a motivos muy distintos: su satisfacción última y la efectividad última de la organización depende sólo en parte de la naturaleza de su motivación. La naturaleza del trabajo a realizar, las habilidades y experiencia de la persona en el trabajo, y la naturaleza de los demás en la organización, todas ellas, interactúan para producir un cierto patrón de trabajo y sentimientos. Por ejemplo un sujeto con mucha

capacidad en habilidades pero pocamente motivado puede ser tan efectivo y estar tan satisfecho como un trabajador altamente motivado pero pobremente habilidoso.

5. El hombre puede responder a muchos tipos distintos de estrategias directivas, en función de sus propios motivos y habilidades y la naturaleza del trabajo; en otras palabras, no hay una estrategia directiva correcta que pueda servir para todos los trabajadores de todos los tiempos.

La ética del cambio tecnológico y las necesidades humanas

Una de las funciones de la ética del cambio es la de proporcionar los principios de la administración del cambio. Estos principios del cambio deben estar basados en los imperativos humanísticos vistos anteriormente. Los imperativos humanísticos que tienen relevancia para la ética son la identidad y la integridad, la auto-actualización, la voluntad de sentido, valores de carácter, la dinámica del cuidado, individualidad y potencialidad, responsabilidad y humanidad, libertad y autonomía, necesidades de supervivencia, compasión y empatía.

No está en el campo de la información, ni es la norma dominante de la eficiencia que está en el centro de la estrategia del cambio, sino que lo importante es el elemento humano. El individuo no es una restricción de la eficiencia de los sistemas, sino que es el factor central

de la ecuación o de la fórmula del cambio. Conceptualizarlo como una restricción es reducirlo a un valor marginal que debe ser negociado en el proceso del cambio. El cambio debe tener como uno de sus objetivos la actualización de las necesidades y valores de los individuos que interactúan con estas tecnologías nuevas.

Finalmente se plantea la pregunta ¿qué valores éticos, de verdad, integridad, justicia, igualdad, etc. debo yo como directivo articular en mis principios para administrar el cambio? El problema más grande de la ética tecnológica es el de proporcionar las condiciones que permitan a los seres humanos actualizar sus potencialidades y reforzar aquellos valores que amplíen nuestra búsqueda de sentido.

El derecho de un empleado a ser tratado como un ser humano es un derecho moral. En cierto sentido es un derecho extremadamente amplio y por otro extremadamente vago pero es un derecho central. Su fundamento es con mucho el hecho de que cada persona es un ser humano y por lo tanto un agente moral que merece respeto.

De esta forma, un patrón que trata a sus trabajadores sólo como un medio para obtener utilidades, o un medio para que se haga lo que se quiere que se haga, los trata inhumanamente: no son máquinas u objetos.

El cambio tecnológico involucra acciones racionales de agentes de cambio, tecnócratas, gerentes, ingenieros, científicos, etc. Actúan racionalmente de acuerdo a un

procedimiento racional de toma de decisiones. Sus acciones racionales afectan a las personas y al ecosistema, por lo tanto, estas acciones son susceptibles de ser evaluadas desde un punto de vista moral. Las consecuencias y los resultados del cambio tecnológico también pueden evaluarse desde una perspectiva moral, algunas de estas consecuencias son buenas, malas o ambas y por lo tanto son sujetas a ser evaluadas desde una perspectiva ética.

Marcuse establece que la tecnología debe servir a las necesidades humanas. Podemos por lo tanto distinguir entre las necesidades verdaderas y las falsas. Falsas son aquellas que se han impuesto al individuo por intereses sociales particulares para su represión: las necesidades que perpetúan la fatiga, la agresividad, la miseria y la injusticia. Su satisfacción podría ser muy gratificante para los individuos, pero esta felicidad no es una condición que tenga que mantenerse y protegerse si está al servicio del aprisionamiento del desarrollo de la habilidad (la suya propia y la de otros) para reconocer el malestar del todo y de las oportunidades de la eliminación de este malestar. El resultado es el de la euforia de la infelicidad. Muchas de las necesidades prevaecientes para relajar, divertir, comportarse y consumir de acuerdo con los anuncios, para amar y odiar lo que los otros aman y odian, pertenece a esta categoría de falsas necesidades.

Las únicas necesidades que tienen una pretensión justificada para ser satisfechas son: la nutrición, el vestido, la vivienda al nivel alcanzable de cultura. La satisfacción de estas necesidades es el prerrequisito para la realización de todas las demás.

CONCLUSION

La tecnología que se va a implantar con el fin de que se tenga un sistema moderno de manufactura puede y debe humanizarse. Los elementos del humanismo se pueden reflejar en las estrategias del diseño del trabajo utilizadas por la alta dirección y por los ingenieros industriales. Las nuevas tecnologías tienen el potencial de promover una perspectiva más humanística en el pensamiento administrativo. La tecnología debe estar al servicio de las necesidades auténticas del individuo y por lo tanto deben promover la armonía y la excelencia. Las culturas corporativas deben reflejar las potencialidades de los valores de la persona incorporando los elementos del humanismo para reducir la incidencia del stress en el trabajo y de la alienación. Estamos en el umbral de una nueva frontera con un potencial muy grande para crecer, crecer en la excelencia corporativa y administrativa. Esta será al final de cuentas la misión de cada uno de nosotros, de la que podremos participar en función al trabajo y a los talentos que cada uno tenga, así que habremos de diseñar un plan de vuelo adecuado para despegar. Los directivos, los científicos, ingenieros, emprendedores, filósofos, etc. deben embarcarse juntos en la misión y en el diseño de este plan de vuelo.

Como podrá verse, esta primera parte, dentro de la presente tesis podría decirse que no tiene una prioridad sustancial pero sí tiene una prioridad funcional ya que además de estar al servicio de la parte segunda, no tendría sentido que se presentara la segunda parte como un mero enlistado de modelos.

BIBLIOGRAFIA

Argyris, C.: "The Individual and the Organization: Some Problems of Mutual Adjustment" aparecido en Boone y Bowen (editores): The Great Writings in Management and Organizational Behavior, Random House, 1987.

Benson, G.: "Mindlessness as Next to Mechanicalness", Training and Development Journal, 1985.

Elias John y Merriam S.: Philosophical Foundations of Adult Education, Krieger, 1980.

Frankl, Víctor: "El Hombre en Busca de Sentido", Herder, 1985.

Juan Pablo II: "Laborem Exercens", Editorial Parroquial de Clavería, 1981.

Lund, R. y Hansen A.: "Keeping America at Work: Strategies for Employing the New Technologies", Wiley, 1986.

Marcuse, H.: "The New Forms of Control" en A. Teich (editor): Technology and Man's Future, St. Martin's Press, 1977.

Maslow A.: "Motivation and Personality", Harper and Row, 1954.

Maslow A.: "A Theory of Meta-Motivation: The Biological Rooting of the Value Life" en Humanistic Psychology, Free Press, 1969.

Shein, E.: Organizational Psychology, 2a. Ed., Prentice-Hall, 1970.

Scott W., Mitchell T., Birnbaum P.: "Organizational Theory: A Structural and Behavioral Analysis", Irwin, 1981.

Shingo, Shigeo: "Producción sin Stocks, el Sistema Shingo para la Mejora Continua", Productivity, 1991.

Walton, R. "How to Counter Alienation in the Plant", Harvard Business Review, Noviembre-Diciembre 1972.

Yablonsky, L.: "Robópatas", Bobbs-Merril, Indianapolis, 1972.

**PARTE II: MODELOS MATEMATICOS BASICOS EMPLEADOS EN
PRODUCCION**

CAPITULO 12 : INTRODUCCIÓN A LA PARTE II

La evolución sufrida en la década de los 80's en el área de la Planeación y Control de la Producción ha sido vertiginosa y ha estado guiada por muchos factores entre los cuales podemos enumerar -de forma no exhaustiva- los siguientes:

1. Clientes más exigentes tanto en el plano de la calidad como en el costo y diversidad del producto;
2. Apertura cada vez mayor de los países a los mercados mundiales;
3. La entrada en juego de un número creciente de empresas y de países en la competencia, como por ejemplo los países de la Europa del Este y países que siguen siendo comunistas;
4. La entrada en juego de economías en bloques económicos, como por ejemplo los países de la cuenca del Pacífico y la Comunidad Europea;
5. etcétera.

Como un ejemplo del número 3, podemos citar los siguientes casos de países que han entrado con éxito en la arena mundial²:

²Cfr. Vollman, Berry y Whybark, Manufacturing Planning and Control Systems, 3a. Ed, 1992, Ed. Irwin, p. 3

1. Videotón (Hungría):

- Redujo inventarios a pesar de la incertidumbre existente

- Incrementó la flexibilidad para responder a los cambios en el mercado

- Mejoró la utilización de la mano de obra y del equipo

2. Optical Equipment Company (China):

- Redujo el inventario en proceso en un 20%

- Mejoró la utilización del equipo

- Incrementó la utilidad en un 5.4%

- Disminuyó las entregas tardías

Esto ha llevado a un desarrollo de la tecnología en producción como no se había visto en años y, al decir esto, sólo nos estamos circunscribiendo a un ámbito en el que no se incluyen complejos desarrollos tecnológicos y modernos.

En este caso, no cabe duda que el factor que más ha estimulado el cambio hacia una modernización de la administración de la producción ha sido la competencia de ultramar, y más específicamente de los japoneses, que por cierto, su mérito principal ha sido el de retomar viejas virtudes olvidadas por la industria norteamericana y que han demostrado una vez más su eficacia como lo hicieron en tiempos anteriores.

Con este estado de cosas, la experiencia nos muestra que los sistemas tradicionales de fabricación y de administración de la producción se han hecho cada vez más obsoletos y los principios básicos, que no dejan de serlo, son los que más han tendido a olvidarse.

Como una muestra de lo dicho anteriormente, basta un botón: los sistemas Just In Time (JIT) tienen como meta, entre muchas otras, reducir el inventario al nivel cero, consiguiendo entregar la cantidad exacta de material y en el momento en que se necesita. A primera vista, esto puede parecer novedoso a la luz de los sistemas tradicionales, pero ya en 1975, Joseph Orlicky afirmaba: "en la fabricación, la idea es tener el inventario disponible en el momento en que se necesita (y si es posible, ni antes ni después de ese momento), en lugar de irlo llevando para tenerlo disponible cuando y si se necesitara"³.

Ya en 1926, Henry Ford escribió⁴ lo que ahora es un verdadero clásico en la literatura americana en materia de fabricación. De acuerdo a Taiichi Ohno, diseñador del Sistema de Producción de Toyota, muchos de los conceptos del Sistema de Producción de Toyota se basaron en el libro de Henry Ford. Los fundamentos del JIT como el

³Joseph Orlicky, Material Requirements Planning, 1975, Mc Graw-Hill, p. 5. Las partes subrayadas son mías.

⁴Cfr. Henry Ford, Today and Tomorrow, 1926. Reimpreso en 1988 por Productivity Press

mejoramiento de la calidad, involucramiento del trabajador, la fábrica enfocada, estandarización, eliminación del desperdicio, etc. fueron descritos en detalle por Ford y ya se aplicaban en Ford Motor Company en 1926. También Ford discute sobre la calidad de vida de los trabajadores y la administración y el error común de suponer una relación existente entre la actividad del mercado de valores y la calidad de los productos de la compañía⁵.

En lo que respecta a los modelos, podría parecer muy sugestivo, por lo que es conveniente definir antes algunos elementos principales que van a empaparla:

1. Si el sistema a implementar no es simple, no funcionará

2. "El problema de control de inventarios se percibía esencialmente como un problema matemático, en vez de uno de manejo masivo de datos y su manipulación, medios no existentes en el pasado. El hecho actual es que los problemas crónicos de la administración de inventarios de manufactura que se resuelven ahora, no se debe a mejores matemáticas, sino a un mejor procesamiento de los datos"⁶

3. Se definirán en el penúltimo capítulo algunos indicadores del desempeño para efectos de implementación haciendo más énfasis en la problemática que presentan los

⁵APICS Educational Materials Catalog, 1992, p. 31

⁶Orlicky, op.cit. p. 7

indicadores del desempeño actuales que en explicar concienzudamente cada uno de los indicadores propuestos: un modelo matemático, por más perfecto que sea, nunca podrá equipararse en riqueza a la realidad existente y menos aún en su naturaleza tan dinámica; el objetivo de estos indicadores tendrán, pues, como fin, ayudar a establecer un sistema de monitoreo que advierta las desviaciones alrededor del objetivo.

Estos principios pretenden dar una idea de que el nivel matemático de los modelos propuestos pretenderá ser lo más sencillo posible, pero esto no querrá decir que la teoría que los apoye sea igualmente sencilla.

Si se ha resaltado lo anterior ha sido debido a que en la Investigación de Operaciones con cierta periodicidad aparecen reclamos de los llamados "practicantes", de tal manera que encontramos las siguientes afirmaciones, que no cabe duda, provienen de autoridades altamente reconocidas:

"La Investigación de Operaciones -que podría ser descrita como la aplicación de técnicas analíticas y matemáticas a problemas de negocios-, se puso de moda durante la Segunda Guerra Mundial, y sus técnicas parecían estar muy bien adecuadas para resolver problemas de producción y de inventarios que tenían que ver con incertidumbre (como los pronósticos). Fue aparente que estas técnicas tenían un gran potencial para ayudar a mejorar la administración de la producción y de los

inventarios. Hasta este momento, la función había recibido muy poca atención de la administración y se reconoció que existían problemas serios. Se necesitaban soluciones. Es interesante dar un vistazo hacia atrás y recordar cómo la Investigación de Operaciones trató de cuantificar la administración de negocios. Es difícil pensar en muchas aplicaciones recientes realmente significativas en el área de la administración de la producción y de los inventarios. En lugar de esto, las técnicas de investigación de operaciones que fueron prácticas tales como el uso de la estadística para medir el error del pronóstico han sido adoptadas como parte de la administración moderna de la producción y de los inventarios. Se ha dicho cómicamente -no obstante con mucho contenido de verdad- que las técnicas que son prácticas y funcionan ya no se les llama investigación de operaciones. Aquellas que no han probado ser prácticas son todavía investigación de operaciones. Desafortunadamente, la investigación de operaciones ha caído en malos días desde un punto de vista de los negocios. Al igual que muchas áreas técnicas, los técnicos se han visto imbuidos en ejercicios intelectuales interesantes. La habilidad para comunicarse con la administración ha declinado y, al mismo tiempo, la administración ha visto poco en cuanto a resultados concretos, y ha perdido a menudo la confianza de que

algún día se desarrollarían fórmulas matemáticas que podría relevarlos del agobio de la toma de decisiones"⁷.

Sobra decir que la cita anterior debe ser matizada: por ejemplo, la investigación de operaciones NUNCA ha pretendido relevar a la administración de la toma de decisiones, "la investigación de operaciones se aplica a problemas que se refieren a la conducción y coordinación de operaciones o actividades dentro de la organización" y "...se ocupa también de la administración práctica de la administración, para tener éxito, deberá también proporcionar conclusiones positivas y claras que pueda usar el tomador de decisiones cuando las necesite"⁸, además, "...no significa que los estudios prácticos de investigación de operaciones sean en esencia ejercicios de matemáticas. De hecho, con frecuencia, el análisis matemático sólo representa una pequeña parte del trabajo total que se requiere"⁹..

Hasta el momento me he dedicado a definir de una manera no exhaustiva el papel que desempeña la investigación de operaciones en la administración de la producción y de los inventarios, posteriormente, en este capítulo, se definirá el campo sobre el que he decidido aplicarlo.

⁷Oliver Wight, Production and Inventory Management in the Computer Age, Van Nostrand, 1984, p. 16

⁸Hillier y Lieberman, Introducción a la Investigación de Operaciones, Mc Graw-Hill, 5a. ed., 1992, p. 5

⁹Ibid. pág. 16

No está de más comentar el papel cada vez más discutido de la Investigación de Operaciones en la solución de problemas de la vida real. En un artículo reciente¹⁰ se afirma que los autores más prolíficos en la literatura de investigación de operaciones no necesariamente son los mejores practicantes ni los mejores maestros, especialmente si las publicaciones son teóricas y los estudiantes se están preparando para hacerse practicantes, además, se propone que como parte de los estudios doctorales en investigación de operaciones se incluyan como parte del curriculum prácticas en el área de la misma manera a como un médico no puede recibir su grado por haber cursado únicamente las materias requeridas, sino después de haber realizado prácticas profesionales en los hospitales y haber hecho residencias en la especialidad deseada.

Como el título de la tesis lo indica, deseo mostrar algunos modelos relacionados con las técnicas más modernas de producción enfocado más que a la complejidad, a la filosofía (para mantener la consistencia con la primera parte) y, sin pretender hacer casuística, se van a ir comentando modelos, se hará una introducción a la aplicación y el campo de la técnica en cuestión y se desarrollarán algunos ejemplos numéricos en algunos de los casos, así que, como puede verse, la utilidad de este

¹⁰Cfr. Practice or Perish, de Harold Davidson, aparecido en OR/MS, octubre 1992, pp.52-53.

trabajo por un lado pretende ser didáctico y por otro pretende ser un instrumento de divulgación de técnicas que ayuden a comprender mejor la filosofía: así no se confundirán las herramientas con el fin.

CAPITULO 13: EL MODELO EOQ A LA LUZ DE LOS NUEVOS
SISTEMAS

A primera vista, parecería una contradicción definir como tema de la tesis modelos de inventarios que están relacionados con sistemas modernos de fabricación y por otro lado analizar un modelo cuyo origen se remonta a 1913¹¹. Si se analiza en la presente tesis, es con el fin de analizarlo a la luz del pensamiento moderno que se tiene sobre la fabricación y confrontarlo con el tradicional y, más aún, definir el área específica para la cual sigue siendo útil, además, "recientes discusiones ... sugieren que es la ausencia del sentido histórico y del deseo del conocimiento de los grandes investigadores en base a los cuales el edificio de la ciencia descansa. Los orígenes de una idea y el contexto original en el que se desarrollaron puede oscurecerse a través del tiempo, y

¹¹Cfr. "Hoy Many Parts to Make at Once" de Ford W. Harris, aparecido en "Factory, The Magazine of Management", Volumen 10, no. 2, febrero de 1913, pp. 135-136, 152, reimpresso en Operations Research, Vol. 38, No. 6, Noviembre-Diciembre 1990, pp. 947-950. Es de notarse el hecho de que varios libros citan una fuente posterior (de 1915), en la que el artículo apareció como un capítulo de The Library of Factory Management, las fuentes de los capítulos en estos volúmenes (6) que conformaban la enciclopedia, no se citaban, por lo que la existencia del artículo original no es evidente, aunque se menciona que la mayor parte del material se había tomado de "Factory" y "System", así se cita por ejemplo en Flossl, Administración de la Producción y de los Inventarios, Principios y Técnicas, Prentice-Hall, 2da. Edición, pág. 4.

entonces las perspectivas históricas de la idea pueden distorsionarse¹². Como el análisis es meramente conceptual, los comentarios girarán alrededor del modelo más simple que se tiene del EOQ: la demanda es instantánea, no hay costos por faltantes, esto es:

$$EOQ = \sqrt{2AD/iC}$$

Donde:

A: costos de preparación

D: demanda en el período, considerada clásicamente como un año¹³

i: tasa de interés en el período

C: costo variable de la parte a producir

Ya desde la aparición del artículo original se advierte que "el autor ha visto los trabajos prácticos de un sistema de inventarios de primera clase y no quiere que se entienda como alguien que exige que sobre una sola fórmula matemática dependa todo para determinar completamente la cantidad de inventario que debe llevarse o que debe ordenarse. Esto es algo que reclama, en cada caso, un juicio experimentado para el cual no hay sustituto. Hay otros muchos factores aún de mayor

¹²Donald Erlenkotter, Ford Whitman Harris and The Economic Order Quantity Model, aparecido en Operations Research, Vol. 38, no. 6, Noviembre-Diciembre 1990, pp. 937-946.

¹³Cfr. Johnson y Montgomery, Operations Research in Production Planning, Scheduling and Inventory Control, Wiley, 1974, pág. 28

importancia que los mencionados en la presente discusión"14. Además, escribe posteriormente: "Se observará que la pérdida es mucho mayor si se coloca una cantidad demasiado pequeña que si se coloca una cantidad demasiado grande"15. Como puede verse desde un principio, se señala la fórmula como una herramienta que ayuda a determinar una cantidad y por otra parte la acompaña de un análisis de sensibilidad, del cual la parte central es la variación porcentual en el costo con relación al cambio en el tamaño del lote16.

Vale la pena transcribir los últimos dos párrafos del artículo, ya que la experiencia ha mostrado que se han olvidado con mucha facilidad:

"no existen muchos hombres que entiendan la teoría subyacente al tamaño económico de los lotes, un conocimiento de ella sería de un valor considerable. Por ejemplo, habiendo uno determinado que es sabio colocar en órdenes lotes de cien unidades, basados en un cierto consumo, es valioso conocer que este consumo debe incrementarse al cuádruple para garantizar la multiplicación por dos de las cantidades a manufacturar. Es más gratificante saber que el efecto en las utilidades, de un error, es muy pequeño como se muestra en las curvas.

14Harris, op. cit., pág. 947.

15Ibid. pág. 949.

16Ibid.

En conclusión, podría decirse que el método dado no es rigurosamente preciso, ya que muchos factores poco importantes se han hecho a un lado de las consideraciones. Puede objetarse que el interés y la depreciación deben considerarse no sólo en el costo original, sino también en el costo de preparación, ya que se ha incurrido en él antes de que las partes se almacenaran. Tales refinamientos, sin embargo, no obstante ser interesantes, son demasiado finos como para ser prácticos. La teoría general, como se ha desarrollado aquí es razonablemente correcta y se verá que da buenos resultados¹⁷.

Sólo como una cápsula cultural podemos citar el artículo mencionado anteriormente de Erlenkotter en donde explica por qué se identificó a la fórmula con Wilson¹⁸: "...una versión de la fórmula apareció en Harvard Business Review en un artículo publicado por Wilson (1934). Wilson siguió la tradición de no citar trabajos anteriores, y nadie pareció estar al tanto de que este tipo de fórmula se había usado en proyectos estudiantiles en la Escuela de Negocios de Harvard por más de diez años. En un artículo publicado anteriormente en la misma revista (Wilson y Mueller 1927), Wilson al parecer aún no conocía la fórmula del EOQ¹⁹.

¹⁷Ibid. pág. 950.

¹⁸Así se le conoce por ejemplo en el libro Analysis of Inventory Systems de Hadley y Whitin, Prentice Hall, 1963, pág. 34

¹⁹Erlenkotter op. cit. pág 940

Análisis de Sensibilidad

¿Qué sucedería si por algún motivo hubiera una desviación con respecto a la cantidad económica a ordenar? De hecho siempre la hay, debido a que es muy difícil establecer con precisión los factores que intervienen en el EOQ como bien lo ha dicho ya James A. Tompkins: "En el mejor de los casos la demanda anual es sólo una predicción; los costos de preparación y de llevar inventario son estimaciones; y el costo de la unidad es un supuesto. Por tanto, el cálculo del tamaño económico de lote es la raíz cuadrada de un pronóstico por un estimado, dividido entre un estimado por un supuesto"²⁰.

Habremos de preguntarnos por lo tanto el impacto, de esto, tomando un ejemplo ya publicado²¹:

La fórmula para el costo total es:

$$CT(Q^*) = AD/Q^* + icQ^*/2$$

Supongamos los siguientes datos:

A=\$45; D=60,000; Q*=3000; c=2; i=0.30

El costo total, sustituyendo en la fórmula es de \$1,800. Si incrementamos el tamaño del lote un 10% (3,300) el costo total es de \$1,808.18 y si lo

²⁰James A. Tompkins, "La Producción Exitosa", pág. 77, Mc Graw-Hill, 1992.

²¹Cfr. Fogarty, Blackstone, Hoffman, "Production and Inventory Management", 2a. Ed., South Western, 1991.

disminuimos en un 10% es de \$1810. Disminuyendo la cantidad Q en un 10% tenemos como resultado un poco más de 0.5% de incremento en los costos anuales de inventarios.

El efecto de un cambio específico porcentual en Q se pueden calcular de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\frac{CT}{CT^*} = \frac{1}{2} \left[\frac{Q^*}{Q} + \frac{Q}{Q^*} \right]$$

Donde CT es el costo total, CT* es el costo total óptimo, Q es la nueva cantidad y Q* es la cantidad óptima, de tal forma que un incremento del 10% ($Q=1.10Q$) representa un incremento de 1.0045 que es como lo vimos anteriormente, "esta inelasticidad del costo total en la vecindad del EOQ le da al planeador de inventarios algo de flexibilidad"²²

Uso en Sistemas Moderno (MRP, JIT, etc.)

Ya está muy difundida la distinción de la naturaleza de la demanda de los inventarios: o tienen demanda independiente o tienen demanda dependiente o tienen una mezcla de ambas. Los artículos que tienen demanda independiente son aquellos artículos terminados cuya demanda debe pronosticarse, por ejemplo los automóviles,

²²Ibidem, pág. 215, de hecho, ya en el artículo de Harris se hacía una observación al respecto.

los artículos que tienen demanda dependiente son aquellos cuya demanda se calcula en base a requerimientos del artículo que le está generando la demanda, así, por ejemplo, si pienso producir 20 automóviles sé que los requerimientos de llantas que voy a tener van a ser de 100 (4 más la de refacción multiplicada por 20), pero las mismas llantas pueden tener demanda independiente cuando se trata de venderlas como refacciones, por ejemplo la venta a las llanteras, en este caso la llanta tendría su porción de demanda independiente.

Nuestra pregunta ahora sería cuál es su uso o su compatibilidad con los sistemas modernos: en primer lugar, hay que tratar de evitar el trabajar con lotes, para esto nuestros esfuerzos deberán enfocarse a la reducción y/o eliminación de los tiempos de preparación, ya que la eliminación de los tiempos de preparación nos dará la suficiente flexibilidad para producir la cantidad que necesitemos solamente (de esto ya se ha hablado ampliamente en la Parte I). Pero cuando es imposible o muy difícil eliminarlo -de hecho así lo reconoce Trigeiro²³- debemos establecer las condiciones y circunstancias en que se deben de usar, las cuales son las siguientes:

- Usese el modelo EOQ y, en general, cualquier modelo de tamaño de lote solamente para los artículos terminados

²³Trigeiro, William, Joseph Thomas y John McClain, "Capacitated Lot Sizing With Setup times, Management Science, Marzo 1989

y materias primas básicas, pero no en niveles intermedios.

• En la medida de lo posible, procurese reducir el tiempo de preparación con el fin de reducir a su vez el EOQ, esto reducirá el "nerviosismo" del sistema.

Por nerviosismo se entiende el conjunto de actividades que se generan de manera desproporcionada debidas a cambios menores en la planeación de los materiales. Los causantes principales son los siguientes:

1. Tiempos de entrega largos
2. Políticas de tamaño de lote que generan requerimientos grandes
3. Una estructura de materiales con muchos niveles

Para reducir los tiempos de entrega es preciso disminuir el inventario en proceso, ya que si el 90% del tiempo se la pasa el producto haciendo colas²⁴ quiere decir que se ha permitido la acumulación del material dentro del piso, esto normalmente sucede debido a que se desea aumentar el porcentaje de utilización de las máquinas y la manera más inmediata de hacerlo es la de asegurarse un trabajo retrasado (con colas) para que esté operando la máquina o el centro de trabajo a un 100%, esto lo podemos palpar cada vez que vamos a un banco, donde la máquina que procesa los trabajos es cada uno de los cajeros existentes. Debido a esto, el porcentaje de

²⁴Cfr. Oliver Wight, Production and Inventory Management in the Computer Age, Van Nostrand Reinhold, pág. 109.

utilización cada vez es visto con más escepticismo ya que los costos que acarrea son muy grandes: un alto costo de administración, riesgos altos de entregas tardías, y riesgos de obsolescencia también altos. En este caso, además, se repite a su modo la ley de Parkinson: "el inventario en proceso, normalmente tiende a expandirse hasta llenar todo el espacio disponible"²⁵.

Con respecto al segundo punto lo mejor es realizar esfuerzos para conseguir políticas de lote por lote, esto es, que cada vez que se haga un pedido, se haga únicamente por la cantidad que se necesita.

Para el tercer punto se deberá rediseñar el producto con el fin de aumentar el número de partes comunes entre productos diferentes, así se podrá reducir el número de partes almacenadas y, al consolidarse éstas, se podrán reducir los inventarios de seguridad ya que la variación en los requerimientos tenderá a disminuir.

²⁵ibidem

CAPITULO 14: USO ESTRATEGICO DE LOTES MAS PEQUEÑOS
MEDIANTE EL USO DE UN NUEVO MODELO EOQ²⁶

Como hemos visto, una de las cuestiones más críticas es el número de artículos a producir en una sola corrida de producción. Los sistemas de producción varían entre los extremos de artículos de bajo volumen, exclusivos, en los que son sistemas centrados en el proceso produciendo por pedidos y sistemas de alto volumen, producción continua, sistemas centrados en el producto produciendo para inventario. Aún con productos que se fabrican en procesos continuos, las partes para esos productos se fabrican en lotes, como el modelo EOQ se basa en una tasa de demanda constante, hay modelos que son mejores que el EOQ cuando la demanda es errática, como es el caso de los productos que tienen demanda dependiente. Sin embargo, todas las técnicas populares de tamaños de lotes tratan de minimizar los costos de llevar inventario en el corto plazo sin considerar la administración de los inventarios en el contexto de la estrategia del negocio. Acabamos de ver que el modelo básico del EOQ minimiza los costos totales de inventario (CTI), que son la suma del costo de llevar inventario y el costo de preparación (o de ordenar) (con el fin de evitar recurrir a páginas

²⁶Stephen H. Replogle, The Strategic Use of Smaller Lot Sizes Through a New EOQ Model, Production and Inventory Management Journal, 3er. Trimestre, 1988, pp. 41-44.

anteriores, se ha reescrito el modelo de los costos totales de tal manera que se entienda el desarrollo que viene a continuación) Matemáticamente, tenemos lo siguiente:

$$CTI=(Q/2)(C)Y+(DY/Q)A \quad (1)$$

donde

Q es el tamaño del lote

C es el costo de llevar una unidad en inventario en un año

Y es el número de años

D es el número de unidades demandadas en el año

A es el costo de preparación

La fórmula que minimiza CTI es, una vez más:

$$Q^*=(2AD/C)^{1/2} \quad (2)$$

La literatura existente sobre el EOQ y otras técnicas de tamaño de lotes invariablemente tratan los costos de preparación y los costos de llevar inventario como constantes a calcular, mientras que la demanda es una constante que hay que pronosticar. Sin embargo, si la decisión de un cierto tamaño de lote va a integrarse en la estrategia de fabricación de una determinada compañía, deben de considerarse los efectos a largo plazo de estas decisiones. Buffa²⁷ insiste en que las decisiones operativas como esta tienen implicaciones estratégicas para la compañía, de esta forma, estas decisiones deben

²⁷Elwood Buffa, Meeting the Competitive Challenge, Irwin, 1984, pág. 124.

tomarse en el contexto de una estrategia de fabricación que sea parte integral de la estrategia del negocio total de la compañía.

Como puede verse de la ecuación (2) y de acuerdo a análisis anteriores, si el tiempo de preparación se reduce, el costo de preparación se reduce también y el tamaño óptimo del lote también disminuye. Una de las partes importantes de JIT es la reducción de los costos de preparación y los tamaños de los lotes. Richard Schonberger²⁸ afirma que el esfuerzo continuo en la reducción del tamaño de los lotes ha sido la fuerza más importante que ha traído los grandes mejoramientos en la manufactura japonesa.

La capacidad de reducir los tiempos de preparación a través del tiempo, pueden explicarse en términos de la curva de aprendizaje. Desarrollada en los 20's, el análisis de la curva de aprendizaje se aplicó en muchas industrias durante la Segunda Guerra Mundial. Varias de ellas experimentaron curvas de aprendizaje que variaban de un 70 a un 95% donde los números bajos representan un aprendizaje más rápido. Más recientemente, se ha descubierto que la curva de aprendizaje tiene una aplicación más general y efectos a más largo plazo de lo que inicialmente se había pensado, Buffa lo explica²⁹ de la siguiente forma:

²⁸Richard Schomberger, Técnicas Japonesas de Fabricación, Editorial Limusa

²⁹Buffa, op. cit., pág. 34.

Es bien conocido en la manufactura que conforme se gana experiencia en la producción, se reducen normalmente los costos unitarios. Originalmente se pensó que el costo del mejoramiento era simplemente el resultado de un efecto de aprendizaje por lo trabajadores que reflejaba el desarrollo de la habilidad y la destreza cuando una tarea se realizaba repetitivamente. Ahora, sin embargo, este efecto está reconocido como el resultado de una amplia variedad de fuentes adicionales, tales como los mejoramientos en los métodos de producción y de las herramientas, mejoramiento del diseño del producto, estandarización, mejor utilización del material, reducción de los inventarios del sistema, mejoramiento del flujo y del layout, economías de escala, y mejoramientos en la organización. El efecto global podría llamarse aprendizaje organizacional. De hecho, el aprendizaje del trabajador ocurre menos rápidamente y es menor comparado con el efecto de aprendizaje total.

El concepto de curva de aprendizaje básico puede expresarse por medio de la ecuación:

$$Y_n = Y_1 n^b \quad (3)$$

donde

Y_n : es el promedio del número de horas por unidad cuando n unidades se producen

Yi: son las horas requeridas para producir la primer unidad

b: es el logaritmo de la curva de aprendizaje dividida por el logaritmo de 2 (por ejemplo, si la velocidad de aprendizaje es 80%, $b = \ln 0.80 / \ln 2$)

Suponiendo que una compañía que no considera el efecto a largo plazo del tamaño de los lotes busca el tamaño de lote óptimo. La demanda anual D es 10,000 unidades, el costo de llevar inventario C es de \$1 por unidad por año y el costo de preparación A es \$12, de acuerdo a la fórmula (2), obtenemos:

$$Q^* = [2(10,000)(12)/1]^{1/2} = 489.9 \approx 490$$

Los costos de llevar inventarios serían (en base a la fórmula 1):

$$\begin{aligned} CTI &= (490/2)(1)(1) + (10,000(1)/490)(12) \\ &= \$490.90 \end{aligned}$$

Si, sin embargo, la compañía experimenta una velocidad de aprendizaje $r=0.80$ en los tiempos de preparación, los costos totales de llevar inventarios se reducirían debido a una reducción en los costos totales de preparación. A partir de la ecuación de la curva de aprendizaje, (3) el costo promedio de los tiempos de preparación para las primeras n preparaciones (S_n) sería:

$$S_n = S_1(DY/Q)^b \quad (4)$$

donde

S1: es el costo de la primera preparación = \$12

n: es el número de preparaciones en Y años = DY/Q

$$b = \ln 0.80 / \ln 2 = -0.3219$$

Una forma revisada de la ecuación para el costo total del inventario se puede escribir combinando las ecuaciones (1) y (4). Esta forma incluye el efecto de la curva de aprendizaje en el costo de preparación:

$$CTI = (Q/2)CY + (DY/Q[S_1(DY/Q)^b]) \quad (5)$$

$$CTI = (Q/2)CY + S_1(DY/Q)^{1+b}$$

De la ecuación (5), el CTI para el primer año en el ejemplo de la compañía es:

$$CTI = (490/2)(1)(1) + 12(10,000)(1)/490^{0.6781}$$

$$= \$337.76$$

Podemos encontrar el tamaño de lote que minimiza CTI derivando e igualando a cero en la ecuación (2) para obtener:

$$Q^* = [2S_1(1+b)(DY)^{1+b} / CY]^{1/(2+b)} \quad (6)$$

La ecuación anterior es un nuevo modelo de EOQ que incluye el efecto de la curva de aprendizaje en el costo de preparación. Antes que nada, ha de hacerse la aclaración de que esta fórmula no pretende sustituir al modelo EOQ clásico, por llamarlo de alguna forma, sino el de comprender el efecto que produce la consideración de la curva de aprendizaje en el modelo. Podríamos decir que estamos ante un círculo "virtuoso", ya que al reducir los tiempos de preparación, reducimos los tamaños de los lotes y al reducir los tamaños de los lotes incrementamos el número de preparaciones, lo que nos da una curva de

aprendizaje veloz que nos ayuda a la vez a disminuir de nuevo los tiempos de preparación. Podría discutirse el hecho de no disminuir el tamaño de los lotes considerando la disminución de los tiempos de preparación para conseguir únicamente costos unitarios más bajos. Lo que podemos comentar al respecto es que en toda la literatura existente sobre el tema ni se discute este punto por ser de forma evidente la alternativa menos aconsejable de tomar si es que se desea obtener una ventaja competitiva con respecto a las demás compañías.

Para minimizar CTI en el primer año, dado que $r=0.80$, tenemos lo siguiente:

$$Q^* = [2(12)(0.6781)(10,000(1))^{0.6781} / (1(1))]^{0.5959} \\ = 217.9 \approx 218$$

Esto representa una reducción en costos totales de inventario de 20.2%.

Las políticas de tamaño de lotes, a la luz del efecto del aprendizaje pueden resultar en tamaños de lotes reducidos y en costos de inventarios aún en un período de tiempo corto.

No es necesario usar un tamaño de lote fijo, como en el ejemplo anterior. Otro enfoque sería usar un tamaño de lote variable, recalculando el EOQ (usando el modelo básico) con el fin de producir la cantidad óptima en cada lote, conforme se va dando el aprendizaje. No obstante este enfoque tiene un carácter intuitivo, es más difícil de usar y no daría tan buenos resultados. En nuestro

ejemplo, el tamaño del primer lote sería de 490 unidades, 379 en el segundo lote, 349 en el tercero y así sucesivamente. Este enfoque de tamaño variable de lote produce costos menores solamente en los 3 primeros meses (menos de 2,500 unidades) y resulta en costos de inventarios 3.3% más altos para el año que el del tamaño de lote fijo de 218 unidades. Este enfoque tiene debilidades ya que es reactivo más que proactivo, esto es, sólo responde a reducciones de costos después de que han ocurrido. El enfoque de tamaño fijo de lote da mejores resultados y es más fácil de usar.

Las decisiones estratégicas se hacen generalmente en vistas a metas de duración mayores a un año. Más específicamente, la estrategia de la gerencia trata con el posicionamiento de la firma con respecto a su ambiente con el fin de asegurar su éxito futuro y protegerlo de fuerzas competitivas. De esta forma, estratégicamente, la gerencia puede estar tratando con la posición competitiva alcanzada en algún punto o puntos en el futuro que con el desempeño a lo largo del camino. Al mismo tiempo, sin embargo, la gerencia debe ponderar los beneficios de una posición competitiva mejor contra los costos de alcanzar esa posición.

Seleccionar un tamaño de lote más pequeño resulta en más lotes a producir cada año. De esta forma, la compañía disminuye la curva de aprendizaje más rápidamente y se mejora la posición competitiva. Sin embargo, tamaños de

lote extremadamente pequeños resultan en tantas preparaciones que el costo del inventario total es prohibitivamente alto en los primeros años. Un enfoque para este dilema es seleccionar un tamaño de lote que minimice el costo total de llevar inventarios a lo largo de un período dado de tiempo (varios años), luego ver qué tan bien se desempeña inicialmente y en el largo plazo, y determinar cuándo se alcanza una determinada posición competitiva. Supongamos que la compañía de nuestro ejemplo decide seleccionar un tamaño de lote que minimice el costo total de inventario en los próximos diez años. Usando la ecuación (5), se calcula un nuevo $EOQ^*=140$ unidades por lote. Este tamaño de lote resulta en un CTI de \$286.92 que es \$17.27 (6.4%) más alto que con un tamaño de lote fijo de 218 unidades. Sin embargo, una posición competitiva mejorada (costo menor por unidad producida) se alcanza en menos de un año. La ventaja se incrementa cada año a cerca de 13% después de 10 años. Comenzando con el segundo año, se consiguen mayores beneficios de tamaños de lotes más pequeños (\$5.24 en el año 2, \$10.50 en el año 3, y así sucesivamente hasta 20.52 en el décimo año). Si esto se analiza como una inversión en el primer año de \$17.27, la cual resulta en los beneficios anteriormente descritos, el período de recuperación es solamente de dos años y la tasa interna de retorno sobre la inversión es un extraordinario 60%

por año para el período de 10 años. Este análisis ignora los ahorros realizados después de los primeros diez años.

Como epílogo de este capítulo, podemos decir que el modelo básico del EOQ, y otros modelos populares de tamaños de lotes, tratan los costos de preparación como una constante. En la práctica, sin embargo, muchas compañías han hecho esfuerzos para reducir económicamente los costos de preparación y los tamaños de los lotes. Tamaños de lotes reducidos significan mayor número de preparaciones, reduciendo por lo tanto la curva de aprendizaje y el aumento de una posición más competitiva de la compañía.

La toma de decisiones estratégicas normalmente está orientada hacia el logro de objetivos de largo plazo. Estos objetivos se refieren generalmente al posicionamiento de la firma en algún punto o algunos puntos en el futuro y pueden también referirse al desempeño en un determinado período de tiempo. La decisión sobre el tamaño de los lotes puede ser usada como un arma estratégica que sea un medio de alcanzar una reducción en los costos de preparación más rápida. Este modelo revisado del EOQ reconoce el efecto del aprendizaje en los costos de preparación y permite el cálculo de tamaños de lotes que minimicen los costos totales de inventarios para un período de tiempo dado.

CAPITULO 15: PLANES DE PRODUCCION BALANCEADOS EN
LINEAS DE ENSAMBLE CON MEZCLA DE PRODUCTOS EN SISTEMAS
JUSTO A TIEMPO

Yasuhiro Monden, publicó en 1980 una serie de artículos en Industrial Engineering, sobre el sistema Just In Time (JIT) o Justo A tiempo, cuya compilación dio como resultado el libro Toyota Production System editado por IE Press en 1983.

En ese libro, uno de los varios tópicos tratados es acerca de la producción mezclada en operaciones de ensamble. Las líneas de ensamble de modelos mezclados se usan para producir muchos productos diferentes sin tener que llevar inventarios grandes, de esta forma, la compañía tiene la flexibilidad en cuanto a producción se refiere, tiene pocos inventarios de productos terminados y proporciona tiempos de entrega cortos a los clientes. El problema que está asociado al ensamble de estos productos está en una determinación adecuada del tiempo de ciclo de la línea, el número y secuencia de estaciones en la línea y el balanceo de la línea. La utilización efectiva de estas líneas requieren un plan de ensamble de los diversos productos. Recordando, en sistemas de producción JIT, que requieren producir solamente los productos necesarios en las cantidades necesarias en los momentos necesarios, el objetivo es mantener una velocidad constante de utilización de todas las partes consumidas en la línea, a esto se le llama nivelación o

balanceo del programa, el modelo matemático desarrollado tiene este objetivo.

Modelo matemático

Se tienen n productos con demandas d_1, d_2, \dots, d_n , totalizando $D_T = \sum_{i=1}^n d_i$ unidades a producir. Si $r_i = d_i / D_T$ es la proporción de la demanda del producto i con la demanda total, por lo tanto, el objetivo es programar la línea de ensamble de tal manera que la proporción del producto i producido (en un período dado de tiempo) con respecto a la producción total sea lo más cercano a r_i como sea posible (para todos los períodos). Esto puede cumplirse de la siguiente forma:

Sea $s_{i,k}$, $i=1, 2, \dots, n$, $k=1, 2, \dots, D_T$, donde $s_{i,k}$ es 0 ó 1 un plan de producción. Si $s_{i,k}=1$ entonces el producto i se producirá durante la etapa k . $\sum_{i=1}^n s_{i,k} = 1, \forall k$, porque solamente puede producirse un producto durante cada etapa. Sea $x_{i,k} = \sum_{j=1}^k s_{i,j}$ la producción total del producto i para las etapas 1 a k . Claramente puede observarse que $x_{i,k}$ es un entero positivo y $\sum_{i=1}^n x_{i,k} = k, \forall k$. Sea $s^*_{i,k}$ (ó $x^*_{i,k}$) el programa óptimo. Podríamos definir el objetivo de cualquiera de las siguientes formas:

$$\text{minimizar } \sum_{k=1}^{D_r} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_{i,k}}{k} - r_i \right)^2, \quad (1)$$

$$\text{minimizar } \sum_{k=1}^{D_r} \sum_{i=1}^n (x_{i,k} - kr_i)^2, \quad (2)$$

$$\text{minimizar } \sum_{k=1}^{D_r} \sum_{i=1}^n \left| \frac{x_{i,k}}{k} - r_i \right|, \quad (3)$$

$$\text{minimizar } \sum_{k=1}^{D_r} \sum_{i=1}^n |x_{i,k} - kr_i|, \quad (4)$$

Estas funciones objetivo buscan minimizar la variación (ya sea las desviaciones al cuadrado o las desviaciones absolutas) de la producción real contra la producción deseada. No hay un tipo de variación que se pueda tratar más matemáticamente. Las funciones objetivo (1) y (3) buscan mantener las proporciones reales de la mezcla de producción ($x_{i,k}/k$) cercanas a las proporciones deseadas (r_i) en todas las veces (k). Las funciones objetivo (2) y (4) tratan de mantener el número real de unidades producidas ($x_{i,k}$) cercanas al número deseado de unidades (kr_i) en todas las veces.

Los dos tipos de objetivos son razonables, de hecho dan programas similares. Por ejemplo considere (1),

$$\sum_{k=1}^{D_r} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_{i,k}}{k} - r_i \right)^2 = \sum_{k=1}^{D_r} \sum_{i=1}^n \frac{1}{k^2} (x_{i,k} - kr_i)^2$$

sujeto a

$$\sum_{i=1}^n x_{i,k} = k, \quad k = 1, 2, \dots, D_r$$

$x_{i,k}$ es un entero no negativo (P1)

Si consideramos únicamente la primera restricción, el problema se reduce a minimizar una función convexa sujeta a un conjunto de restricciones lineales. La solución puede encontrarse por inspección: $x_{i,k} = kr_i$. La función objetivo es igual a cero y las restricciones se satisfacen:

$$\sum_{i=1}^n x_{i,k} = \sum_{i=1}^n kr_i = k \sum_{i=1}^n r_i = k. \quad \text{Es relativamente fácil ajustar esta}$$

solución para integrar la última restricción. Definínase el punto $X_k = (x_{1,k}, x_{2,k}, \dots, x_{n,k}) \in R^n$ donde $x_{i,k} = kr_i$,

$$\sum_{i=1}^n x_{i,k} = k, \quad \text{y } R \text{ es el conjunto de números reales. Nuestro}$$

problema consiste en encontrar el punto entero "más cercano"

$M_k = (m_{1,k}, m_{2,k}, \dots, m_{n,k}) \in Z^n$ al punto X_k donde

$$\sum_{i=1}^n m_{i,k} = k, \quad Z \text{ es el conjunto de enteros no negativos y "más}$$

"cercano" quiere decir minimizar $\sum_{i=1}^n (m_{i,k} - x_{i,k})^2$.

ALGORITMOS DE SOLUCION:

Algoritmo 1:

El siguiente algoritmo encuentra el entero más cercano $M=(m_1, m_2, \dots, m_n) \in \mathbb{Z}^n$ al punto $X=(x_1, x_2, \dots, x_n) \in \mathbb{R}^n$ donde $\sum_{i=1}^n m_i = \sum_{i=1}^n x_i = k$.

1. Calcule $k = \sum_{i=1}^n x_i$

2. Encuentre el entero positivo más cercano m_i a cada coordenada x_i . Esto es, encuentre m_i tal que $|m_i - x_i| \leq \frac{1}{2}$, $i=1, 2, \dots, n$.

3. Calcule $k_m = \sum_{i=1}^n m_i$

4. a) Si $k - k_m = 0$ pare. El punto entero más cercano es $M=(m_1, m_2, \dots, m_n)$.

b) Si $k - k_m > 0$ vaya al paso 5.

c) Si $k - k_m < 0$ vaya al paso 6.

5. Encuentre la coordenada x_i con el mínimo $m_i - x_i$. Incremente el valor de esta m_i ; $m_i \Rightarrow m_i + 1$. Vaya al paso 3.

6. Encuentre la coordenada x_i con el máximo $m_i - x_i$. Decremento el valor de esta m_i ; $m_i \Rightarrow m_i - 1$. Vaya al paso 3.

Ejemplo 1.-

Encuentre el punto entero más cercano a $X=(30/13, 30/13, 5/13)$

Paso 1:

$$\sum_{i=1}^3 x_i = k_m = \sum_{i=1}^3 m_i = \frac{30}{13} + \frac{30}{13} + \frac{5}{13} = 5$$

Paso 2:

El punto entero más cercano es (2, 2, 0).

Paso 3:

$$\sum_{i=1}^3 m_i = 4 = k_m$$

Paso 4:

$k - k_m = 1 > 0$. Vaya al paso 5.

Paso 5:

$m_1 - x_1 = 2 - 30/13 = (26 - 30)/13 = -4/13$, $m_2 - x_2 = -4/13$, $m_3 - x_3 = -5/13$. El más pequeño es m_3 , $m_3 = 0 + 1 = 1$. El punto entero es (2, 2, 1)

Paso 3:

$$\sum_{i=1}^3 m_i = 5 = k_m$$

Paso 4:

$k - k_m = 0$. El punto entero más cercano es (2, 2, 1).³⁰

Esto es, la solución óptima a P1 se encuentra usando el algoritmo 1 para encontrar los k puntos

³⁰Una prueba para este algoritmo se da en Management Science, Vol 35, pág. 192: Level Schedules for Mixed-Model Assembly Lines in Just In Time Production Systems, John Miltenburg.

enteros más cercanos $M_k=(m_{1,k}, m_{2,k}, \dots, m_{n,k})$ a los k puntos $X_k=(x_{1,k}, x_{2,k}, \dots, x_{n,k})$ donde $x_{i,k}=kr_i$. Desafortunadamente este puede resultar en un plan de producción no factible en el sentido de que requerimos $m_{i,k} \geq m_{i,k-1}$. En el apéndice 1 del artículo sobre el que está basado este apartado se demuestra que $|m_{i,k} - m_{i,k-1}| \leq 1$. Esto es, el caso $m_{i,k} = m_{i,k-1} - 1$ puede darse. Esto representa la producción de -1 unidad del producto i en la etapa k , lo cual es imposible.

Ejemplo 2.-

Tenemos $n=3$ productos con demandas $D=(6, 6, 1)$ para ensamblarse en una línea de ensamble de modelos mezclados. En este caso, el vector de relaciones de demandas, es $r=(6/13, 6/13, 1/13)$. El algoritmo 1 da el siguiente programa:

Etapa	X_k	M_k	Producto	Var. programado	Var. Parcial	Var. Total
k						
1	6/13, 6/13, 1/13	1 0 0	1	0.5088	0.5088	
2	12/13, 12/13, 2/13	1 1 0	2	0.0355	0.5444	
3	18/13, 18/13, 3/13	2 1 0	1	0.5799	1.1243	
4	24/13, 24/13, 4/13	2 2 0	2	0.1420	1.2663	
5	30/13, 30/13, 5/13	2 2 1	3	0.5680	1.8343	
6	36/13, 36/13, 6/13	3 3 0	1, 2, -3	0.3195	2.1538	
7	42/13, 42/13, 7/13	3 3 1	3	0.3195	2.4734	

La producción óptima para 5 etapas es (2, 2, 1) mientras que la producción óptima para 6 etapas es (3, 3, 0). Durante

la sexta etapa una unidad del producto 1 y una unidad del producto 2 deben producirse mientras que una unidad del producto 3 debe destruirse. Desde luego, esto es imposible. Solamente puede ensamblarse un producto durante una etapa y los productos ensamblados anteriormente no pueden destruirse. Sin embargo, basados en estos resultados, podemos desarrollar un número de programas "factibles".

Plan	Pasos 1-4	Pasos 5,6,7	Variación Total
1	1-2-1-2	3-1-2	3.0887
2	1-2-1-2	3-2-1	3.0887
3	1-2-1-2	1-2-3	2.6272
4	1-2-1-2	1-3-2	3.2426
5	1-2-1-2	2-1-3	2.6272
6	1-2-1-2	2-3-1	3.2426

De estos programas factibles, 3 ó 5 es el mejor (con 6.2% más variación que el programa no factible inicial). En seguida se muestran algunos algoritmos para generar programas buenos y factibles.

Algoritmos y metodos heurísticos de secuenciación

La solución que hemos obtenido de P1 es un programa nivelado o balanceado para el problema del sistema de producción JIT con mezcla de modelos. Sin embargo, como acabamos de ver, el programa puede resultar no factible. El siguiente algoritmo describe un procedimiento que tiene un

mecanismo de aseguramiento con el fin de que se pueda encontrar una solución factible:

Algoritmo 2:

1. Resuelva el problema P1 (usando el algoritmo 1), y determine si el plan de producción es factible. (Es factible si $m_{i,k} - m_{i,k-1} \geq 0$ para toda i, k). Si el plan es factible, pare. Este es el plan óptimo. De no ser así, vaya al paso 2.

2. Para el plan de producción no factible obtenido en el paso 1, encuentre el primer (o siguiente) paso l donde $m_{i,l} - m_{i,l-1} < 0$. Defina $\delta =$ número de productos i , para los cuales se cumple la desigualdad anterior. Reprograme las etapas $l - \delta, l - \delta + 1, \dots, l + 1$ considerando todas las secuencias posibles que comienzan con el programa para la etapa $l - \delta - 1$ y terminan con el plan para la etapa $l + 1$.

3. Repita el paso 2 para otras etapas cuando $m_{i,k} - m_{i,k-1} < 0$. Entonces, pare.

El objetivo es minimizar las variaciones del uso actual del componente (X_{JK}) alrededor de una imaginaria línea recta que representara el uso promedio de un componente. En forma menos matemática, el objetivo es secuenciar los productos de tal forma que se minimice la distancia entre la línea recta imaginaria y las líneas reales de la utilización del componente. Se calcula la utilización promedio del componente (línea imaginaria) dividiendo la cantidad total de un componente requerida por la cantidad total de todos

los productos en el plan de ensamble. La utilización promedio del componente, en cualquier punto de la línea imaginaria, puede calcularse como KN_1/Q .

Con el fin de minimizar la variación en la utilización actual del componente alrededor de la utilización promedio, Monden sugiere la utilización de una heurística para secuenciar el ensamble final de los productos terminados en una línea de producción. Esta heurística trabaja haciendo la secuencia de los artículos terminados, comenzando con la selección del primer producto terminado a ensamblar y trabajando hasta el último artículo terminado a ensamblar. En cada etapa de la secuencia de programación, se utiliza la siguiente ecuación con el fin de determinar el siguiente producto a programarse en la producción:

$$D_{Ki} = \sqrt{\sum_{j=1}^{\beta} \left(\frac{KN_j}{Q} - X_{j,K} - b_{ij} \right)^2}$$

Donde:

D_{Ki} = Distancia a minimizar para el número de secuencia K y para el artículo terminado i.

β = El número de componentes distintos requeridos

K = El número de secuencia del plan de producción del artículo terminado actual.

N_j = El número total del componente j requerido en la secuencia de ensamble final.

Q = El número de artículos terminados a ensamblarse en la secuencia de ensamble final.

$X_{j,K-1}$ = El número acumulado del componente j actualmente utilizado a través de la secuencia de ensamble $K-1$

b_{ij} = El número de componentes j requeridos para hacer una unidad del artículo terminado i .

Ejemplo:

TMI produce equipo electrónico para la industria telefónica. En una planta, una línea de ensamble produce circuitos de memoria para teléfonos celulares usando el enfoque de secuenciación mezclada de modelos. Las operaciones de componentes en esta planta se han convertido a un flujo de materiales JIT. La compañía desea reducir la variación de la demanda en las estaciones de manufactura de los componentes usando el enfoque de Toyota. TMI ha proporcionado los siguientes datos para dos productos terminados, A y B (que usan dos cantidades diferentes de dos componentes):

Número de Artículo Terminado	1	2
Cantidad Planeada por Turno	2	3
	Consumo de componente	por artículo terminado
Número de Artículo Terminado	A	B
1	4	1
2	1	2

¿En qué secuencia deben producirse las cinco unidades (2 del artículo terminado 1 y 3 del 2) en la línea de ensamble final con el fin de minimizar la variación de la demanda en la estación de los componentes A y B?

Solución (empleando el método de Toyota):

$$Q=5, N_A=11, N_B=8, \frac{N_A}{Q}=\frac{11}{5}, \frac{N_B}{Q}=\frac{8}{5}$$

$$D_{11} = \sqrt{\left(\left(\frac{1*11}{5}-0-4\right)^2 + \left(\frac{1*8}{5}-0-1\right)^2\right)} = \sqrt{(1.8^2+0.6^2)} = 1.897$$

$$D_{12} = \sqrt{\left(\left(\frac{1*11}{5}-0-1\right)^2 + \left(\frac{1*8}{5}-0-2\right)^2\right)} = \sqrt{(1.2^2+0.4^2)} = 1.265$$

$$D_{21} = \sqrt{\left(\left(\frac{2*11}{5}-1-4\right)^2 + \left(\frac{2*8}{5}-2-1\right)^2\right)} = \sqrt{(0.6^2+0.2^2)} = 0.632$$

$$D_{22} = \sqrt{\left(\left(\frac{2*11}{5}-1-1\right)^2 + \left(\frac{2*8}{5}-2-2\right)^2\right)} = \sqrt{(2.4^2+0.8^2)} = 2.53$$

$$D_{31} = \sqrt{\left(\left(\frac{3*11}{5} - 5 - 4\right)^2 + \left(\frac{3*8}{5} - 3 - 1\right)^2\right)} = \sqrt{(2.4^2 + 0.8^2)} = 2.53$$

$$D_{32} = \sqrt{\left(\left(\frac{3*11}{5} - 5 - 1\right)^2 + \left(\frac{3*8}{5} - 3 - 2\right)^2\right)} = \sqrt{(0.6^2 + 0.2^2)} = 0.632$$

$$D_{41} = \sqrt{\left(\left(\frac{4*11}{5} - 6 - 4\right)^2 + \left(\frac{4*8}{5} - 5 - 1\right)^2\right)} = \sqrt{(1.2^2 + 0.4^2)} = 1.265$$

$$D_{42} = \sqrt{\left(\left(\frac{4*11}{5} - 6 - 1\right)^2 + \left(\frac{4*8}{5} - 5 - 2\right)^2\right)} = \sqrt{(1.8^2 + 0.6^2)} = 1.897$$

De acuerdo a los datos obtenidos:

Etapas K	D _{k1}	D _{k2}	Secuencia	X _{AK}	X _{BK}
1	1.89	1.26*	2	1	2
2	.63*	2.53	2 1	5	3
3	2.53	.63*	2 1 2	6	5
4	1.26*	1.89	2 1 2 1	10	6
5			<u>2 1 2 1 2 11</u>		8

Una vez más, se recuerda que los sistemas no son estáticos, sino dinámicos, y en este caso podemos decir que se aplica el Principio de Incertidumbre de Heisenberg: cuando queremos incluir una variable nueva o un nuevo cambio, al tener la solución, el sistema ha cambiado de nuevo, este es el motivo por el que no se ha hecho una mayor profundización en estos modelos ya que ninguno está a prueba de la Ley de Murphy. El hecho de que las condiciones cambian continuamente en el piso quiere decir que la reprogramación y/o el suministro de herramientas que ayuden a reprogramar en forma dinámica para dar un seguimiento adecuado, es muy importante. También debe de observarse que reprogramar no es sinónimo de "matar" una orden, simplemente quiere decir que las prioridades de alguna otra cosa son ahora mayores.

CAPITULO 16: PLANES DE PRODUCCION EN SISTEMAS JIT CON MEZCLAS EN EL ENSAMBLE Y CON NIVELES MULTIPLES

Este capítulo tiene en su relación al anterior de que en este caso se comenta (y siguiendo los principios enunciados al inicio de esta parte II, debido a lo complejo del tema solamente se hace un esbozo del problema) acerca de un nuevo elemento de dificultad, el cual sabemos que se da en la realidad, y que es el de múltiples niveles en los ensambles de los productos. Lo único que se hará, en este caso, es el de exponer el modelo matemático, ya que aunque la realidad es así, es muy difícil poner en marcha el modelo en la vida real, aún contando con computadoras. En Toyota se han tenido que hacer simplificaciones muy grandes para hacer más manejable esta situación. La solución del modelo es muy similar al algoritmo propuesto en el capítulo anterior, de hecho es una versión extendida. Para solucionar este tipo de modelos se sugiere la utilización de algún paquete que resuelva problemas no lineales como el GINO (General Interactive Nonlinear Optimizer) que usa el método GRG.

El interés que se nos muestra al hacer la exposición de este modelo no viene justificada únicamente por el hecho de enfrentar un problema que se da con mucha frecuencia en la realidad, sino en el hecho de entender también motivos adicionales de conveniencia para que en la etapa de diseño

se elaboren partes distintas con la mayor cantidad posible de piezas comunes con el fin de reducir la variación, la variación y en consecuencia el aumento de inventarios que podrían ser innecesarios.

Recordando, JIT es un sistema que jala, lo cual significa que los subensambles, componentes y materia prima son jalados en la medida en que se necesitan. El plan de producción del artículo terminado determina los planes de producción de los otros niveles. La utilización efectiva de la línea de ensamble final requiere que los siguientes problemas se puedan resolver:

Determinación de los tiempos de ciclo de la línea

Determinación del número y secuencia de estaciones en la línea

Balanceo de la línea

Determinación de la secuencia de los diversos productos a producir en la misma línea

Sabemos que en un sistema tradicional, por ejemplo el de taller, la secuencia de los trabajos a realizar se hace primeramente en departamentos: lugares en los que se realiza una sola función y secundariamente la regla de secuenciación de la producción se forma en base a las diversas prioridades gerenciales que se puedan definir, por ejemplo si se desea tener la mayor cantidad de trabajos terminados en una unidad de tiempo usaríamos una determinada regla, por ejemplo la

conocida por sus siglas en inglés como SPT (tiempo de procesamiento más corto), si deseamos tener la mínima cantidad de trabajos tardíos podríamos usar otra, tal vez podría ser FIFO (primeras entradas, primeras salidas), en fin, hay muchas maneras para cada tipo de política.

El problema más importante en nuestro caso es el último que se enuncia: determinación de la secuencia de los diversos productos a producir en la misma línea y todos los esfuerzos dedicados a esto o todas las posibilidades que se nos puedan ofrecer responderán primordialmente a uno de los criterios principales dentro de la filosofía de JIT: la estabilidad, que paradójicamente, es el arma con la que puede lidiarse más fácilmente la alta variabilidad de demanda del artículo terminado. Además se toma en cuenta el factor integrador, ya que no puede resolverse un problema en la fábrica a costa de endosar otros tipos de problemas a los proveedores, ya que al exportarlos, estos se nos facturan en costos más altos de las materias primas y de los componentes, máxime que ahora la tendencia en los sistemas de producción moderna es la subcontratación del mayor número posible de partes, al menor número posible de proveedores. La razón de esto último es que así se fomenta una sana competencia y se eliminan viejas políticas que la entorpecían, por ejemplo ¿qué se puede hacer con un componente que se compra a una empresa que pertenece al

mismo grupo industrial al cual pertenece la compradora y que tiene mala calidad? La respuesta es muy difícil de contestar porque intervienen factores no sólo económicos, lo que han hecho empresas como CIFUNSA, fabricante de monoblocks y que ya ha conseguido el Q1 (máxima distinción de FORD a sus proveedores por el cual ya no hace ningún tipo de inspección a los productos que le proporcionan, sino que entran directamente al departamento de producción) ha sido el de darle un plazo para que mejoren la calidad, por decir algo 3 meses, y a partir de ese período hacer las compras basados únicamente en calidad del producto sin hacer acepción de la empresa a la que le compran, pero en el inter, puede argumentarse en contra de que el cliente que vaya a recibir en sus automóviles esos monoblocks no tiene por qué pagar platos ajenos, ni ser objeto de experimentos que puedan ir en detrimento de su inversión.

En base a lo anteriormente expuesto, podemos decir por lo tanto, y de manera esquemática que el plan que nos dicte la secuencia de la mezcla de productos tendrá como alternativas las siguientes:

- 1) Nivelar la carga (tiempo de ensamble total) en cada estación de la línea de ensamble final o
- 2) Mantener una velocidad constante de consumo para cada parte utilizada en el sistema de niveles múltiples.

El número 1) reconoce que no todos los productos tienen el mismo tiempo de operación en cada estación de la línea. Algunos inclusive pueden tener tiempos de operación en ciertas estaciones que exceden el tiempo de ciclo predeterminado. La línea de ensamble puede ser capaz de ajustarse a esto sin necesidad de disminuir su velocidad o de pararla. Sin embargo, si los productos con tiempos de operación relativamente largos se programan de tal forma que se cumpla el objetivo 1), por el efecto de cascada hacia niveles inferiores, se producirán retrasos y paros. Uno de los objetivos que podrían plantearse dentro del modelo matemático, por lo tanto podría ser el de hacer la secuencia de tal forma que se minimicen los paros en la misma. Como esto va menos de acuerdo con la filosofía de JIT que el plan que cumpla con el objetivo 2 únicamente se da como referencia el modelo que da la solución a este problema³¹. Además, y como hemos mencionado anteriormente, este trabajo citado no considera los efectos en los otros niveles en el sistema de producción de niveles múltiples.

El objetivo 2 puede considerarse como la meta más importante para los sistemas de producción JIT³²: mantener la velocidad de consumo de los productos, subensambles,

³¹Okamura y Yamashina, "A Heuristic Algorithm for the Assembly Line Model-Mix Sequencing Problem to Minimize the Risk of Stopping the Conveyor. International Journal of Production Research, Vol 17, pág. 233

³²Monden, Yasuhiro, op. cit. pág. 182.

componentes y materia prima, tan constante como sea posible. A esto también se le llama balanceo o nivelación del plan de producción. De hecho, el capítulo anterior es una introducción a este en cuanto que se trata del mismo problema aquí existe un nivel de dificultad mayor. De la misma forma que el capítulo anterior, este persigue el segundo objetivo.

Descripción del problema

Cada producto (nivel 1) se hace en base a una variedad de subensambles (nivel 2), los cuales consisten a su vez de componentes diversos (nivel 3) y los cuales a su vez se hacen de otros materiales (nivel 4, etc.). Estas "partes" varían de producto a producto. Se pueden seguir varios programas para producir productos distintos en el problema bajo estudio:

Producción por lotes, en los que cada producto (nivel 1) se produce secuencialmente, en un lote lo suficientemente grande como para satisfacer los requerimientos de producción en el horizonte de planeación. De esta forma, el número de montajes se minimizan en el nivel 1. Como contrapartida, los inventarios se incrementarán debido a que el plan de producción de ensamble final no estará sincronizado con la demanda del mercado. Además, programar lotes grandes de cada producto requerirá programar lotes grandes de las partes con

el fin de que estén disponibles. Cuando una parte determinada se necesita solamente para unos pocos productos, su utilización será alta cuando aquellos productos se produzcan y será de cero de la forma contraria.

Producción balanceada, en donde cada producto se produce en forma concurrente. Se producen con frecuencia lotes pequeños de cada productos, de tal forma que la mezcla de la producción se sincroniza con la demanda del mercado. La producción de la parte se sincroniza cuidadosamente con la producción del producto. Los inventarios se mantienen al mínimo. Debido a que hay más número de preparaciones o montajes, estos costos deben mantenerse bajos y en consecuencia los tiempos también. Estas son las metas del JIT: los planes de producción balanceados son los que se utilizan en los sistemas JIT.

En el capítulo anterior, supusimos que cada producto requería aproximadamente el mismo número y la misma mezcla de las partes. (Esto es con frecuencia una suposición razonable ya que estos productos se ensamblan en la misma línea de ensamble de modelos mezclados). Logramos una velocidad constante de utilización de todas las partes utilizadas por la línea (un objetivo del sistema de producción JIT) considerando sólo las velocidades de demanda para los productos e ignorando las velocidades de demanda de las partes.

El algoritmo utilizado en Toyota se llama Goal Chasing Method (Método de búsqueda de la meta). Este caso, corresponde al visto en el capítulo anterior, como se vio allí, solamente se considera la variabilidad en el nivel del sub-ensamble (nivel 2) y la variabilidad del ensamble final (nivel 1) se ignoraba. De todos modos, siendo simple el algoritmo anterior, Monden dice lo siguiente:

"Es muy difícil aplicar el método de búsqueda de la meta ya que el número de partes diferentes utilizadas en un automóvil es de alrededor de 20,000. Por lo tanto, las partes están representadas únicamente por su sub-ensamble respectivo, donde cada sub-ensamble tiene muchas ramificaciones. Por ejemplo, podemos tener los siguientes datos de producción:

- Cantidad de producción planeada=alrededor de 500 (=número de secuencia de las órdenes)

- Número de tipos de carros:alrededor de 180

- Número de subensambles=alrededor de 20

Cada sub-ensamble debe contener obviamente muchas partes diferentes. Para el número de sub-ensambles, la diferencia en las cargas (ensamble por hora) de los distintos

automóviles, debe tomarse en cuenta para manejarlo de la misma forma como si fueran partes reales."³³

El modelo del método de búsqueda de la meta (GCM) se puede extender para incluir más niveles. La función objetivo es:

$$\sum_{k=1}^{DT_1} \sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^{n_j} w_j (x_{ijk} - d_{ijk} / DT_1)^2$$

donde:

j =número de nivel (1, producto; 2, sub-ensamble; 3, componete; 4, materia prima).

d_{i1} =demanda para el producto $i=1,2,\dots,n_1$.

x_{ijk} =número de unidades del producto i producidas durante las etapas 1, 2, ..., k . k se usará para indicar el número de la etapa.

$$DT_1 = \sum_{i=1}^{n_1} d_{i1} \text{ demanda total para la producción al nivel } j.$$

Finalmente tenemos las cantidades w_j (pesos) donde $j=1..4$

Estos pesos se usarán con el fin de ajustar la importancia relativa de tener un "buen" plan a los niveles diferentes. Los pesos se determinan antes de que se hagan los programas. Las prioridades de la situación particular y el dato d_{ij} afecta la determinación del w_j .

³³Monden, Y. "Toyota Production System", IIE Press, 1983, págs. 191-192.

Sólo queda por definir el criterio de decisión. Este es como sigue: Para una etapa k , programe el producto i con el mínimo:

$$EGCM_{ik} = \sum_{j=1}^4 \beta_{ijk}, \text{ donde}$$

$$\beta_{ijk} = \sum_{l=1}^{n_j} \left[(x_{i,j,k,l} + t_{i,j,l}) - k * d_{i,j} / DT_i \right]^2$$

una vez más, los pesos determinan la importancia relativa de la variabilidad en cada nivel j .

Hasta aquí el modelo matemático, como puede verse la complejidad del problema más que en tratar de resolverlo, estriba en la eliminación de las causas que lo originan: reduciendo el número de niveles para los artículos terminados, diseñando partes comunes para los artículos terminados, etc. Aunque ya se dijo, el objetivo en este capítulo ha sido solamente el de definir la problemática existente para esta situación específica, la solución de este problema se encuentra en "Scheduling Mixed-Model Multi-Level Just In Time Production Systems", de John Miltenburg y Gordon Sinnamon, en International Journal of Production Research, 1989, Vol. 27, No. 9, pp. 1487-1509.

CAPITULO 17: DETERMINACION DEL NUMERO OPTIMO DE KANBANS

En el contexto de los sistemas JIT, un kanban es una señal, en su sentido más amplio, que se usa como un medio para autorizar una producción adicional de un artículo determinado.

El número de kanbans que tenemos para cada artículo es muy importante, ya que puede decirse que el inventario en proceso está contenido allí, de tal forma que puede haber problemas tanto si hay kanbans de más y de menos. No está demás recordar que el kanban se utiliza sólo para aquellos artículos o componentes que tienen movilidad alta (de tal forma que la velocidad de demanda sea constante en el periodo a considerar).

Usando la fórmula de Toyota y sin descender a demostraciones tenemos que:

$$VD \times TE \times (1 + P)$$

No. de kanbans= -----

TC

Donde:

VD: Velocidad de demanda

TE: Tiempo de Entrega

P: Política de inventario (ejemplo: inventario de seguridad)

TC: Tamaño del contenedor

Ejemplo: Dada la siguiente información, determine el número de kanbans requeridos:

Velocidad de demanda: 100 unidades/hora

Tiempo de entrega: 2 horas

Factor de seguridad: 0.05

Tamaño del contenedor: 50 unidades.

Solución:

$$\begin{aligned} \text{No. de Kanbans} &= \{(100 \text{ u's/hr})(2 \text{ hrs.}) (1.05)\}/50 \\ &\text{u's/cont} \\ &= 5 \text{ tarjetas de kanban} \end{aligned}$$

Con respecto a la fórmula, puede decirse que la única variable que nos produce cierta inquietud es el factor de seguridad, en este caso, la variable P. ¿Cómo puede interpretarse y cuál puede ser su límite? Esta variable representa, como puede verse un cierto "colchón" cuyo fin es absorber las fluctuaciones que puede haber en la demanda; si no se desean tener muchos problemas es mejor tener ese factor con un límite máximo de 0.10 y si la fluctuación es mayor, lo mejor es hacer el cambio de producción para el día siguiente por ejemplo.

Hasta aquí el tema que comprende este capítulo. La literatura ha producido diversos artículos basados en esta

fórmula sencilla, y han considerado, por ejemplo la situación en el que la velocidad de demanda varía entre períodos dentro del horizonte de planeación, considerando además muchos centros de trabajo, para esto pueden consultarse otras fuentes donde se proponen además algoritmos de solución³⁴. Pero el alcance de la presentación de esta fórmula se satisface ya que es la que se usa en una realidad concreta (Toyota) y ha dado excelentes resultados. Ahora bien, un sistema de punto de reorden puede tener el mismo desempeño que las tarjetas kanban³⁵, pero de esto "los autores concluyen que la razón por la cual el sistema kanban es atractivo no es el sistema en sí mismo. La razón es que el sistema kanban es una forma conveniente de implementar una estrategia de producción de lotes pequeños y exponerla a condiciones de operación que necesiten mejoramientos. Así, la clave para un mejor desempeño es ir perfilando el ambiente de producción"³⁶. Glosando lo anterior: si deseamos mejorar el sistema y ya estamos en el número óptimo de tarjetas de kanban, podemos quitarle al sistema tarjetas, provocando problemas de producción, con el fin de poder descubrir la "siguiente roca" o problema que hay que

³⁴Bitran, G. R. y L. Chang. "Mathematical Programming Approach to Deterministic Kanban Systems", Management Science, Abril 1987, pp. 427-441.

³⁵Cfr. Krajewski, L. J. et al. "Kanban, MRP and Shaping the Production Environment", Management Science, Enero de 1987.

³⁶Vollman, et al. op. cit., pág. 520.

eliminar, al descubrirlo, devolvemos la tarjeta, el sistema vuelve inmediatamente a la estabilidad y se analiza el nuevo problema ya que su solución llevará como beneficio la reducción de tarjetas y por lo tanto del inventario en proceso.

CAPITULO 18: COMBINACION DE REGLAS DE PRIORIDADES EN LA
PRODUCCION: UN ENFOQUE PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO EN UN
TALLER CON FLUJO DOMINANTE³⁷

Un problema que se tiene constantemente en el piso está muy relacionado con las prioridades de producción, ya que aunque lo ideal es que no haya más de 2 trabajos esperando detrás de una línea de producción, o de un centro de trabajo o de una máquina, la realidad es que hasta que no se llegue a ese estado esos dos trabajos o más van a estar compitiendo para ver en qué orden van a ser procesados. Es muy difícil tener una visión de conjunto global que permita discernir cuál fue la mejor decisión. Ninguna regla, por sí sola, es efectiva en el mejoramiento de los indicadores de desempeño que conciernen tanto al tiempo del flujo del proceso como a la minimización de su retraso simultáneamente. Se hizo una simulación de varias políticas de prioridades en diferentes etapas de procesamiento en un sistema con flujo dominante. ¿Qué se quiere decir con esto último?. A diferencia de estudios anteriores en esta área, la simulación de un taller no se da nunca en un estado químicamente puro, esto es, ni puro taller, ni puro flujo (entendido como producción

³⁷Cfr. Barman S., Lawrence LaForge, "Combining Simple Priority Rules: An Approach to Improve The Performance of a Flow Dominant Shop", una vez más, mi aportación consistió en escribir a los autores de esta investigación y divulgarlo en esta tesis. Es un documento inédito.

continua). El taller es un híbrido en el sentido de que contiene las características básicas globales de un sistema continuo, pero también involucra las variaciones en las rutas a través de las etapas intermedias de procesamiento, características estas últimas de un sistema de taller (job shop). Este capítulo por tanto, es de lo que trata.

La selección de las reglas de procesamiento de trabajos por prioridades están basadas en índices que son una función de al menos uno de los atributos de los talleres tales como la fecha límite de entrega, el contenido total del trabajo, el número de operaciones, etc. Las reglas más sencillas que conocemos y que no necesitan explicación ya que su nombre las define en su totalidad son por ejemplo, Tiempo de Proceso más Corto (SPT por sus siglas en inglés), Tiempo de Entrega más Temprano (EDD), Primero en Entrar Primero en Servir (FCFS), no tienen un buen desempeño en todos los indicadores, ya que las prioridades están basadas en un atributo único. Por ejemplo FCFS reduce las variaciones de tiempo de flujo, pero se desempeña muy mal en otros indicadores debido a que está basado en un "mirar hacia atrás"³⁸. La regla de tiempo de procesamiento más corto (SPT), aunque reduce el tiempo de flujo promedio y la

³⁸Cfr. Conway, R. W., "Priority Dispatching and Job Lateness in a Job Shop", Journal of Industrial Engineering, Vol. 16, No. 4, 1965, pp. 228-237.

tardanza³⁹ de los trabajos, ignora las fechas de entrega de los mismos, conduciendo esto a una tardanza en promedio alta y mucha variación en todos los indicadores de desempeño. La regla de Trabajo con Fecha de Entrega más Próxima (EDD), resalta mucho la urgencia de los trabajos usando la fecha de entrega como un índice, pero no se desempeña adecuadamente en otros indicadores⁴⁰.

Con el fin de mejorar un mejor desempeño y más global, es necesario fijar la atención en más de un atributo. Una opción sería diseñar una regla de prioridad que comprendiera más de un atributo, pero se va a explotar el descubrimiento que se ha hecho de que una combinación de distintas reglas sencillas en cada etapa de producción también ha dado buenos resultados⁴¹.

Se modeló un sistema de producción con un centro de trabajo de entrada de órdenes, un conjunto de centros de trabajo intermedios y un centro de trabajo de acabado final. El primer centro de trabajo realiza para todos los trabajos que entran, la primera operación, y la última operación de

³⁹Weeks, J. K. "A Simulation Study of Predictable Due Dates", Management Science, Vol 25, No. 4, 1979, pp. 366-373.

⁴⁰Blackstone, J. H. Jr, D. T. Phillips y G. L. Hogg, "A State of the Art Survey of Dispatching Rules for Manufacturing Job Shop Operations", International Journal of Production Research, Vol. 20, No. 1, 1982, pp. 27-45.

⁴¹Cfr. Barret, R. T. y S. Barman, "A SLAM II Simulation Study of a Simplified Flow Shop", Simulation, Vol. 47, No. 5, 1986, pp. 181-189.

todos los centros de trabajo pasan por acabado final. Se simularon cuatro centros de trabajo intermedios y dentro de ellos, los trabajos se aleatorizaron en sus rutas.

Se probaron y combinaron cuatro reglas distintas dando un total de 64 esquemas de prioridades. Las prioridades fueron:

- 1) Tiempo de Proceso más Corto (SPT)
- 2) Fecha de Entrega más Próxima (EDD)
- 3) Radio Crítico (CR)
- 4) Primero que entra, primero servido (FCFS)

Sin entrar a más detalles, los resultados fueron los siguientes:

SPT-SPT-SPT mostró el flujo promedio de tiempo más bajo y la tardanza promedio de todos los trabajos procesados (5000 en esta simulación), pero también mostró una variación muy alta en el tiempo de flujo y tardanza total. Los resultados confirmaron que el desempeño de SPT-SPT-SPT en un taller con flujo dominante es muy consistente con SPT en un ambiente de taller puro, de la misma forma, las combinaciones puras de prioridades dieron resultados muy pobres.

Fue muy interesante observar que hubo tendencias significativas hacia el mejoramiento de los indicadores de desempeño cuando se empezaron a combinar reglas de prioridades. En primer lugar, los 4 mejores esquemas en la

minimización del tiempo promedio de tardanza tienen SPT en el nivel intermedio y CR en el centro de trabajo de acabado. También se vio que para los 4 esquemas, las 4 reglas aparecen en el centro de trabajo de entrada, esto sugiere que con el fin de mejorar la tardanza promedio, la decisión sobre la regla en el centro de trabajo de entrada es mucho menos importante que cuando nos vamos hacia abajo en el proceso productivo, donde la combinación de SPT y CR es más efectiva. De estos cuatro esquemas, la mejor combinación es SPT-SPT-CR ya que reduce considerablemente el tiempo promedio de flujo y el de tardanza.

Otros dos esquemas, SPT-CR-EDD y SPT-CR-CR son más efectivos en reducir las mediciones de los siguientes tres criterios: tiempo de flujo, tardanza (lateness) y tardío (tardiness).

Aparentemente, es difícil mejorar tanto el promedio y el incumplimiento (tardiness) en forma simultánea combinando reglas de prioridad básicas. Sin embargo, tales esfuerzos pueden mejorar ya sea el promedio o la varianza de todos los criterios de desempeño a la vez. En un taller con flujo dominante, el uso selectivo de reglas SPT y CR puede tener las ventajas y superar las desventajas de las dos reglas en forma muy eficiente. Estas combinaciones son intuitivamente apoyadoras en el sentido de que le dan a los trabajos, en etapas distintas, tanto orientación de la dirección como la

orientación de la fecha límite hacia la terminación del trabajo. Para resumir: Si el objetivo se refiere al promedio de los indicadores de desempeño, se podría escoger el esquema SPT-SPT-CR. Por otro lado, la combinación SPT-CR-CR es más efectiva si se trata de reducir la variación de todos los indicadores de desempeño. En cualquier caso, el uso de las políticas de SPT en el centro de trabajo de entrada y CR en el centro de trabajo de acabado es efectiva en forma consistente. La selección de la regla SPT o CR en los centros de trabajos intermedios, deberá estar influenciada por la importancia relativa de la medición del promedio o de la varianza.

Podría ser muy interesante analizar estos dos tipos de políticas finales, con el fin de analizar su robustez (consistencia) en otro tipo de condiciones. Esos futuros análisis podrían incluir la recolección de observaciones repetidas bajo varios grados de carga del taller, métodos distintos de asignación de fechas de entrega y configuraciones distintas del taller. Para el caso expuesto aquí, se incluyen en el anexo a este capítulo, las tablas donde se encuentran los resultados de la simulación a partir de los cuales se hicieron los análisis.

ANEXO AL CAPITULO 18: RESULTADOS DE LA SIMULACION

TABLA 1
 MEJORES CRITERIOS PARA CADA POSIBLE COMBINACION DE
 REGLAS (BASADOS EN 5000 TRABAJOS COMPLETOS)

	<u>Mean:</u>	<u>Standard Deviation:</u>
FLOWTIME	SPT-SPT-SPT (43.94)	SPT-CR-EDD (45.28)
		FCFS-EDD-EDD (45.55)
		SPT-CR-CR (45.63)
	(overall mean = 80.73)	(overall standard deviation = 58.00)
LATENESS	SPT-SPT-SPT (-9.60)	SPT-CR-CR (33.51)
		SPT-CR-EDD (34.42)
	(overall mean = 27.24)	(overall standard deviation = 50.20)
TARDINESS	SPT-SPT-CR (22.61)	SPT-CR-CR (31.88)
	CR-SPT-CR (23.39)	SPT-CR-EDD (31.97)
	EDD-SPT-CR (23.41)	
	FCFS-SPT-CR (25.83)	
	(overall mean = 44.52)	(overall standard deviation = 53.92)

APENDICE: PROMEDIOS Y DESVIACIONES ESTANDAR PARA TODOS
 LOS ESQUEMAS POSIBLES (BASADOS EN 5000 TRABAJOS COMPLETOS)

	FLOWTIME		LATENESS		TARDINESS	
	<u>Mean</u>	<u>Std. Dev.</u>	<u>Mean</u>	<u>Std. Dev.</u>	<u>Mean</u>	<u>Std. Dev.</u>
SPT-SPT-SPT	43.94	66.84	-9.60	58.59	60.90	121.80
SPT-SPT-CR	52.84	59.44	- .69	50.67	22.61	66.31
SPT-SPT-EDD	50.60	60.37	-2.93	51.54	33.89	78.16
SPT-SPT-FCFS	55.94	65.49	2.42	58.94	43.64	79.38
SPT-CR-SPT	71.50	49.52	18.04	38.64	29.83	37.92
SPT-CR-CR	74.71	45.63	21.26	33.51	27.45	31.88
SPT-CR-EDD	77.38	45.28	23.93	34.42	32.56	31.97
SPT-CR-FCFS	78.75	47.51	25.29	37.81	34.85	35.07
SPT-EDD-SPT	73.17	51.38	19.70	41.22	39.71	39.15
SPT-EDD-CR	77.30	46.26	23.83	35.71	33.15	33.48
SPT-EDD-EDD	81.62	46.76	28.11	37.42	40.31	33.73
SPT-EDD-FCFS	81.66	49.70	28.15	40.90	43.16	36.87
SPT-FCFS-SPT	89.47	72.76	35.96	70.79	63.34	70.65
SPT-FCFS-CR	94.61	69.58	41.11	67.39	55.33	66.96
SPT-FCFS-EDD	93.88	66.88	40.38	69.46	57.03	63.09
SPT-FCFS-FCFS	102.60	74.66	49.06	74.49	71.88	72.00
CR-SPT-SPT	51.91	66.98	-1.62	58.32	37.62	89.67
CR-SPT-CR	59.72	60.98	6.18	51.38	23.39	60.44
CR-SPT-EDD	59.37	61.22	5.82	51.80	30.92	64.88
CR-SPT-FCFS	62.88	66.73	9.36	59.27	38.04	71.85
CR-CR-SPT	79.38	53.27	25.92	41.38	34.20	40.44
CR-CR-CR	81.76	48.51	28.31	35.74	32.85	34.39
CR-CR-EDD	87.30	48.27	33.83	37.22	39.97	34.88
CR-CR-FCFS	88.45	51.36	35.00	40.74	41.75	38.49
CR-EDD-SPT	81.97	51.21	28.47	41.46	42.78	38.26
CR-EDD-CR	84.67	46.28	31.20	35.90	38.04	33.40
CR-EDD-EDD	89.09	46.06	35.59	37.03	44.74	33.00
CR-EDD-FCFS	89.86	49.27	36.37	40.67	46.93	36.64
CR-FCFS-SPT	92.98	69.29	39.44	66.91	59.98	65.95
CR-FCFS-CR	99.67	66.26	46.18	63.45	55.84	62.22
CR-FCFS-EDD	101.60	67.96	48.16	65.41	60.41	64.06
CR-FCFS-FCFS	105.40	69.81	51.92	69.03	67.47	66.25

APENDICE: CONTINUACION

	FLOWTIME		LATENESS		TARDINESS	
	Mean	Std. Dev.	Mean	Std. Dev.	Mean	Std. Dev.
EDD-SPT-SPT	49.21	67.46	-4.28	56.86	49.85	101.50
EDD-SPT-CR	57.42	60.84	3.93	50.00	23.41	61.82
EDD-SPT-EDD	56.31	62.16	2.84	51.49	33.69	71.34
EDD-SPT-FCFS	59.16	65.46	5.68	56.28	40.25	73.86
EDD-CR-SPT	78.29	53.66	24.84	41.52	33.94	40.94
EDD-CR-CR	81.26	49.36	27.79	36.29	32.55	35.19
EDD-CR-EDD	87.39	48.37	33.92	36.77	39.93	34.73
EDD-CR-FCFS	86.11	51.00	32.64	40.07	40.28	37.87
EDD-EDD-SPT	82.43	53.46	28.92	43.27	44.91	39.87
EDD-EDD-CR	85.67	47.48	32.20	36.94	39.34	34.43
EDD-EDD-EDD	89.21	46.90	35.71	37.61	45.77	33.14
EDD-EDD-FCFS	90.04	50.22	36.53	41.19	48.05	36.77
EDD-FCFS-SPT	92.18	74.28	38.69	70.27	62.88	71.08
EDD-FCFS-CR	96.92	65.88	43.43	61.00	54.23	59.93
EDD-FCFS-EDD	101.40	69.89	47.89	66.08	60.93	65.03
EDD-FCFS-FCFS	105.10	74.39	51.60	71.43	68.76	69.65
FCFS-SPT-SPT	53.57	66.10	-0.02	59.24	41.92	85.27
FCFS-SPT-CR	60.37	59.64	6.81	52.04	25.83	60.38
FCFS-SPT-EDD	61.02	63.67	7.46	56.00	34.85	69.32
FCFS-SPT-FCFS	63.98	66.52	10.43	61.25	42.32	72.76
FCFS-CR-SPT	82.15	54.04	28.66	42.96	37.35	41.49
FCFS-CR-CR	83.31	47.82	29.84	35.95	34.43	34.18
FCFS-CR-EDD	89.57	47.75	36.11	37.54	42.05	34.85
FCFS-CR-FCFS	90.23	51.06	36.75	41.21	43.89	38.40
FCFS-EDD-SPT	83.26	51.63	29.75	42.61	43.71	39.18
FCFS-EDD-CR	87.17	46.61	33.68	37.16	40.68	34.21
FCFS-EDD-EDD	91.15	45.55	37.62	37.15	45.88	33.09
FCFS-EDD-FCFS	92.04	48.35	38.52	40.84	48.66	36.18
FCFS-FCFS-SPT	98.36	74.92	44.87	74.71	68.52	73.40
FCFS-FCFS-CR	101.60	66.40	48.09	65.11	58.33	63.54
FCFS-FCFS-EDD	104.30	65.77	50.72	64.65	62.81	62.50
FCFS-FCFS-FCFS	110.60	73.46	57.07	74.76	74.85	71.29

CAPITULO 19: DETERMINACION DE TAMAÑOS DE LOTES DENTRO DE LA CAPACIDAD CON TIEMPOS DE PREPARACION

La fabricación JIT ha atraído la atención hacia muchos aspectos de la manufactura que antes no se habían considerado por diversas circunstancias y motivos, uno de ellos ha sido el de tomar en cuenta adecuadamente el efecto de los tiempos de preparación sobre el consumo de capacidad. Los tiempos de preparación, tal como se ha visto en la Parte I, se han reducido drásticamente en muchos procesos de fabricación de partes discretas, llevando esto a tamaños de lotes más pequeños y por lo tanto a niveles más bajos de inventario en proceso. El ensamble de modelos mezclados, como hemos visto anteriormente, se ha vuelto factible ya que los tiempos de preparación y los costos que acarrea este tipo de política son lo suficientemente pequeños.

Aunque a primera vista JIT ha eliminado la necesidad de investigar sobre los tamaños de lote en manufactura, los tiempos de preparación siguen siendo un elemento importante en los problemas de la vida real. LOS TIEMPOS DE PREPARACION SE HAN REDUCIDO, PERO NO SE HAN ELIMINADO, por ejemplo, sobran artículos en donde se describen por ejemplo, reducciones exitosas a un 25% en los tiempos de preparación de los tiempos originales, pero de esto hay que observar dos cosas: 1) 25% no es igual a cero, además, siguieron

existiendo en varios casos tiempos de preparación de una hora y 2) Los tiempos de preparación más pequeños han permitido a las compañías reducir el ciclo de manufactura, incrementándose por lo tanto el número de las preparaciones. EL TIEMPO TOTAL UTILIZADO PARA REALIZAR PREPARACIONES HA PERMANECIDO MAS O MENOS IGUAL, CON LA UNICA DIFERENCIA DE QUE EL NUMERO DE PREPARACIONES SE HA INCREMENTADO⁴². En un caso, seguían tiempos de preparación de 3 a 8 horas no obstante hubo reducciones de un 80%.

En aquellos sistemas en donde los tiempos de preparación tienen una importancia capital, es esencial que los mismos sean administrados en una forma muy explícita. El modelo descrito traduce los tiempos de preparación en costos en periodos de tiempo específicos que dependen de la estrechez de la restricción de la capacidad en los periodos individuales. El algoritmo estima los costos de oportunidad y los utiliza para determinar los tamaños de lotes y hacer programas que estén dentro de los límites de la capacidad disponible. El algoritmo puede recomendar la producción de modelos múltiples dentro de un periodo de tiempo y lo podrá hacer si los costos de las preparaciones y los tiempos respectivos son lo suficientemente pequeños. De esta forma se mantiene la consistencia con el enfoque JIT. La secuenciación de los modelos no se contempla en este

⁴²Trigeiro, William W. et al. op. cit.

capítulo (ya se ha dedicado uno completo con respecto a este tópico).

Un conjunto de problemas muy interesante con los que uno no se puede topar sin tomar en cuenta los tiempos de preparación es la eliminación del tiempo extra cuando la utilización promedio de una política de lote por lote (incluyendo los tiempos de preparación) exceden el 100%. Hacer una producción por lotes elimina numéricamente algunas preparaciones y con esto bajamos la utilización y podemos llegar a una solución factible. Sin embargo, para poder tener una solución, tal problema debe tener una estructura muy especial -debe haber una capacidad en exceso considerable en los primeros periodos debido a que producir por lotes mueve la producción hacia los periodos anteriores (se adelanta la producción). Pero una utilización intensa con holgura inicial implica que la demanda exhiba una tendencia creciente. Esto podría esperarse en un ambiente manufacturero debido a que algunas demandas podrían satisfacerse inmediatamente haciendo lotes sobre decisiones tomadas en el pasado (acumulando los pedidos pendientes y producirlos en un solo lote).

Aún en el caso en el que la utilización de la capacidad acumulada en una producción de lote por lote (incluyendo los tiempos de preparación) no excediera la capacidad acumulada disponible, no necesariamente habría de existir una solución

factible. Por ejemplo, considere el siguiente problema de 3 periodos y 2 artículos. Este problema puede parecer sencillo y es lo suficientemente académico ya que la utilización acumulada nunca excede la capacidad acumulada y la utilización promedio es de solamente el 85% (51/60). Más aún, sólo se tiene una unidad de tiempo extra a eliminar. Sin embargo, el primer periodo no puede aceptar una producción adicional. El periodo 2 no puede aceptar el artículo 1 ya que el tiempo de preparación es muy alto. Por lo tanto, este problema no es factible de acuerdo al modelo que se está considerando. (Si las preparaciones se pudieran llevar entre periodos, entonces se tendría una solución factible). La tabla del problema es la siguiente:

Artículo	Tpo. de Prep.	Unidad de Prod. Por Tiempo	Demanda por Periodo		
			1	2	3
1	10	1	10	0	11
2	4	1	0	6	0

Utilización Lote por Lote	20	10	21
Capacidad	20	20	20

La falta de una verificación sencilla de factibilidad, presenta una dificultad seria para un algoritmo. Debido a que un algoritmo heurístico no puede garantizar la

convergencia hacia una solución factible, en caso de existir, se pueden dar fallas en encontrar soluciones factibles significando esto que no existen. Debido a que todos los problemas de tamaño significativo son demasiado grandes como para que sean resueltos de una forma óptima, no hay una indagación sistemática de la habilidad por parte del algoritmo para resolver en forma correcta estos problemas difíciles que pueden de esta forma subestimarse.

Bosquejo del algoritmo

La heurística de suavización tiene un papel central en el algoritmo. El algoritmo itera entre procedimientos primos y duales. Un paso de suavización de la producción, heurístico, se lleva a cabo después de cada iteración primal. El procedimiento dual utiliza optimización del subgradiente para calcular los precios duales para la capacidad en cada periodo. El procedimiento primal utiliza programación dinámica para resolver el conjunto de problemas de un solo artículo sin restricción de la capacidad que resultan de una relajación lagrangiana descrita en el modelo matemático. La heurística de suavización modifica la solución primal, buscando eliminar con esto el tiempo extra. Esto es esencial, ya que la solución primal del modelo ignora la capacidad y por lo tanto no tiene la habilidad para dividir un lote entre periodos para utilizar totalmente la capacidad. Tanto los procedimientos primal como de

suavización utilizan los costos implicados de producción y de preparación para reflejar el costo de la utilización de la capacidad en la selección de qué artículos (y qué cantidades de cada uno) producir en el turno. El éxito o el fracaso del algoritmo depende de la interacción del primal, del dual y de los procedimientos de suavización. El algoritmo es más o menos el siguiente:

1. Inicializar los multiplicadores de Lagrange (costos duales) de las restricciones de capacidad.

2. Procedimiento Primal: Use los multiplicadores de Lagrange para calcular los costos de oportunidad para cada periodo de los problemas de programación de un artículo, después, resuelva para cada artículo mediante programas dinámicos de Wagner-Within.

3. Calcule la utilización de los recursos en cada periodo basados en los programas de producción del paso 2.

4. Procedimiento de suavización: Produzca un plan de producción modificado mediante la aplicación de rutina suavizada, ya sea cambiando o dividiendo⁴³ los lotes en la medida en que sea necesario, con el fin de eliminar el

⁴³Esta última, a mi manera de ver, es la forma que menos recomendaría, por los problemas posteriores que se pueden ocasionar, de hecho, este es un tópico del que trato más ampliamente en el siguiente capítulo, es por eso que he tratado este tema en este momento, ya que este capítulo es una especie de enlace de la literatura escrita anteriormente, incluida la parte uno, con el tema que se discute en el siguiente capítulo que es la teoría de restricciones.

tiempo extra. Trate de minimizar los costos de oportunidad del paso 2.

5. Aplique una regla de detención: pare e imprima la solución o vaya al paso 6.

6. Procedimiento dual: Actualice los multiplicadores de Lagrange de las restricciones de capacidad con la optimización subgradiente. El vector direccional es el vector de tiempo extra/tiempo holgado del paso 3. Vaya al paso 2.

Durante cada iteración, el paso 2 produce un límite inferior al costo óptimo (el valor óptimo lagrangiano para un conjunto dado de precios duales). El uso del subgradiente en el paso 6 garantiza que el algoritmo produzca, en el límite, el límite inferior óptimo (más grande) alcanzable para esta relajación. Este límite inferior es importante para decidir cuándo hay que parar y para evaluar la calidad de las soluciones, además es útil en lo que respecta a la caracterización de la dificultad del problema.

El paso 4 es un procedimiento de suavización heurístico. El programa suavizado resultante se almacena hasta que se encuentre uno mejor en una iteración posterior. El plan de producción mejor suavizado se imprime cuando se detiene el algoritmo. El criterio para cambiar los lotes a periodos anteriores es la minimización de los costos de oportunidad incurridas por unidad de tiempo extra eliminado. El

procedimiento mueve uno o más lotes si es necesario, pero divide a lo mucho un lote que está fuera de un periodo.

En el artículo se explican los resultados de una corrida del programa computacional el cual se proporciona como anexo de este capítulo. Como no se trata de hacer una traducción literal de un artículo determinado, remito para más detalles, al lector interesado en el tema a ese artículo; en términos generales el programa mostró resultados interesantes.

La conclusión principal, además de otras descritas en el artículo de referencia, fue que si no se considera el tiempo de preparación a la hora de diseñar la capacidad de un sistema, surgirán problemas difíciles de resolver en lo que se refiere a casos de tiempos de preparación grandes. Con el fin de evitar esta tautología, se incluyeron los tiempos de preparación en el diseño de la capacidad, para hacer los análisis de sensibilidad entre el juego de variables tiempos de preparación con restricciones de capacidad. El programa está escrito en FORTRAN.

La explicación de las variables (definición y tipo de declaración), se dan dentro del mismo listado del programa.

**ANEXO AL CAPITULO 19: PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA EL
PROBLEMA DEL TAMAÑO DE LOTE CON LIMITE DE CAPACIDAD**

```

C CHINE.FOR 6/14/85 150 LINES
C *****
C
C      Algorithm for the Capacitated Lot-sizing Problem
C      *****
C
C      Program iterates between price-updating and
C      single-item Wagner-Whitin subroutines.
C
C      Update shadow prices via a pseudo-subgradient
C      updating based on facility utilization from
C      Wagner-Whitins' SCHED, and INCLUDING setups.
C      *****
C
C      DEFINITION OF VARIABLES
C      *****
C
C      Scalars:
C      =====
C
C      I, ITEM      indices for items
C      I           index for time periods
C
C      ALPHA       smoothing constant (initialized to 1) for SUBGRD
C      LBITER      iteration count of last improvement of lower bound
C      UBITER      iteration count of last improvement of solution
C      ITERAT      iteration count
C      NITEM       total number of items
C      NRMGRD      norm of SPCAP subgradient direction vector
C      NTIM        number of time periods in horizon
C      STPSIZ      step size of the SPCAP subgradient update
C
C      UB* and LB* are best upper- and lower-bound values
C      saved from the best incumbent solution
C      *****
C
C      Arrays:
C      =====
C
C      CAP(I)      resource capacity limit
C      CINH(I)     item's inventory holding cost
C      COVR        resource overtime cost
C      CPRD(I)     item's cost of production
C      CSET(I)     setup cost for an item
C      DEM(I,I)   demand Note: Ending inventory conditions
C                must be added to demand in period NTIM
C
C      SCHED(I,I) current iteration's schedule of production
C      SPCAP(I)   shadow price of capacity
C      SUBGRD(I)  capacity subgradient direction vector
C      TIMONE(I)  usage of the capacitated facility for an item
C      TIMSET(I)  setup (utilization) time for an item
C      UTIL(I)    facility utilization
C      *****
C
C      For variable definitions, 36 is for NITEM max value
C      30 is for NTIM max value
C      *****

```

```

C ***** START OF DIS-STANDARD COMMON BLOCK *****
C
C      REAL CINH(36), CPRD(36), CSET(36), COVR, CAP(30), UTIL(30),
C      + TIMONE(36), TIMSET(36), DEM(36,30), SCHED(36,30),
C      + SPCAP(30), SUBGRD(30), OLDDIR(30), ALPHA, NRMGRD,
C      + STPSIZ, UB0BJ, UB1IW, UBPRD, UBSET, UB0VR, UBSKD(36,30),
C      + UBSPC(30), LB0BJ, LB1IW, LBPRD, LBSET, LBSPC(30)
C      + INTEGER NITEM, NTIM, ITERAT, LBITER, UBITER,
C      + LOU1, PR10, PR11, PR1W
C      + COMMON /BILLR/ CINH, CPRD, CSET, COVR, CAP, UTIL, TIMONE, TIMSET,
C      + DEM, SCHED, SPCAP, SUBGRD, OLDDIR, ALPHA, NRMGRD,
C      + STPSIZ, UB0BJ, UB1IW, UBPRD, UBSET, UB0VR,
C      + UBSKD, UBSPC, LB0BJ, LB1IW, LBPRD, LBSET, LBSPC
C      + COMMON /BILLI/ NITEM, NTIM, ITERAT, LBITER, UBITER,
C      + LOU1, PR10, PR11, PR1W
C
C ***** END OF DIS-STANDARD COMMON BLOCK *****
C
C      INTEGER I, ITEM, J, T, MAXITR, RDRPRT, TSTLB, INFEAS
C      REAL LASTLB, OINH
C      CHARACTER*20 FNAME
C
C      =====
C
C      OPEN (23, FILE='\\FOR\DIS\CIN23.DAT', STATUS='OLD')
C      READ (23, 9100) MAXITR, PR1W, RDRPRT, PR10, LOU1, ADJSTP
C      CLOSE(23)
C
C      ILOOP = 0
C      WRITE (LOU1, 9002)
C      9002 FORMAT (' Input the filename of the data set ', /,
C      + ' ' ( or "FROMFILE" for \\FOR\DIS\DCHFN ') ')
C      READ (5, 9006) FNAME
C      IF ( FNAME .EQ. 'FROMFILE ' ) GO TO 100
C      IF ( FNAME .EQ. 'fromfile ' ) GO TO 100
C      IF ( FNAME .EQ. ' ' ) GO TO 100
C      9006 FORMAT (A20)
C      GO TO 300
C      100 CONTINUE
C      OPEN (UNIT=24, FILE='\\FOR\DIS\DCHFN', STATUS='OLD')
C      OPEN (UNIT=25, FILE='\\FOR\DIS\DCH.CUT', STATUS='OLD')
C      READ (25, 9006) FNAME
C      ILOOP = 1
C      200 CONTINUE
C      READ (24, 9006) FNAME
C      IF ( FNAME .EQ. 'END ' ) GO TO 8900
C      WRITE (LOU1, 9007) FNAME
C      9007 FORMAT (' BELOW IS FOR FILE ', A20)
C      300 CONTINUE
C
C      PR11 = RDRPRT
C      IF ( PR10 .GE. 0 ) PR11 = 1
C      IF ( PR10 .GT. 10 ) PR11 = 10
C      ALPHA = 1.
C      CALL IN (FNAME)
C      IF ( ADJSTP .GT. 0. ) STPSIZ = STPSIZ * ADJSTP
C
C      IF ( MAXITR .GE. -1 ) GO TO 500
C      ITERAT = -2
C      DO 400 ITEM = 1, NITEM
C      CALL LW (ITEM)
C      400 CONTINUE
C      CALL SHOOTH
C      CALL TSTBST (TSTLB, LASTLB)
C      GO TO 8000

```

```

C
500 CONTINUE
  IF ( MAXITR .EQ. 0 ) GO TO 600
  ITERAT = -1
  TSTLB = -1
C Test lot-for-lot schedule which was initialized by IM
  IF ( PRTOI .GE. 0 ) WRITE (LOUT,9200)
  CALL TSTBST (TSTLB,LASTLB)
  CALL SMOOTH
  CALL TSTBST (TSTLB,LASTLB)
  IF ( MAXITR .EQ. -1 ) GO TO 8000
C
600 CONTINUE
  ITERAT = 0
  PRTOI = RDRPRIT
  CALL SPCIN (LASTLB)
  IF ( PRTOI .GT. -2 ) WRITE (LOUT,9300) ( SPCAP(T), T = 1, NTIM )
  CALL TSTBST (TSTLB,LASTLB)
  IF ( MAXITR .LE. 0 ) GO TO 8000

```

```

C
=====
C

```

```

2000 CONTINUE
  TSTLB = 1
  ITERAT = ITERAT + 1
  IF ( PRTOI .GE. 0 ) WRITE (LOUT,9400) ITERAT
  DO 3000 ITEM = 1, NITEM
    CALL IW (ITEM)

```

```

3000 CONTINUE
  CALL DIR
  CALL TSTBST (TSTLB,LASTLB)
  CALL SMOOTH
  TSTLB = 0
  CALL TSTBST (TSTLB,LASTLB)
  IF ( ITERAT .GE. MAXITR ) GO TO 8000
C Update the shadow prices of capacity
  IF ( WRMGRD .LE. .0001 ) GO TO 5000
  DO 3500 T = 1, NTIM
    IF ( ( SPCAP(T) .GT. .0001 ) .OR.
      + ( SUBGRD(T) .GT. .0001 ) ) GO TO 3900

```

```

3500 CONTINUE
  GO TO 8000
3900 CONTINUE
  IF ( PRTOI .GE. 1 ) WRITE (LOUT,9600) STPSIZ
  DO 4000 T = 1, NTIM
    SPCAP(T) = SPCAP(T) + STPSIZ * SUBGRD(T)
    IF ( SPCAP(T) .LT. 0 ) SPCAP(T) = 0.
    IF ( SPCAP(T) .GT. COVR ) SPCAP(T) = COVR
4000 CONTINUE
5000 CONTINUE
  STPSIZ = STPSIZ * 0.95
  GO TO 2000

```

```

C
8000 CONTINUE
  CALL OUT
C
C

```

```

INFEAS = 0
DO 8200 T = 1, NTIM
  UTIL(T) = 0.
  DO 8100 I = 1, NITEM
    IF ( UBSKD(I,T) .GT. 0.001 ) UTIL(T)
      = UTIL(T) + TIMSET(I) + TIMONE(I) * UBSKD(I,T)
  CONTINUE
  IF ( UTIL(T) .LE. (CAP(T)+0.001) ) GO TO 8200
  WRITE(LOUT,8001) T

```

```

INFEAS = 1
8200 CONTINUE
C
DO 8400 I = 1, NITEM
  QINV = 0.
  DO 8300 T = 1, NTIM
    QINV = QINV + UBSKD(I,T) - DEM(I,T)
    IF ( QINV .GE. -0.001 ) GO TO 8300
    WRITE(LOUT,8002) I, T
    INFEAS = 1
8300 CONTINUE
  IF ( QINV .LE. 0.001 ) GO TO 8400
  WRITE(LOUT,8003) I
  INFEAS = 1
8400 CONTINUE
  IF ( INFEAS .EQ. 1 ) UB08J = -2.
C
8001 FORMAT(21X,'PERIOD ',I2,' USES OVERTIME')
8002 FORMAT(' ITEM ',I2,', IN PERIOD ',I2,
  + ' HAS NEGATIVE INVENTORY!')
8003 FORMAT(' ITEM ',I2,' HAS POSITIVE ENDING INVENTORY!')
C
C

```

```

  IF ( LOOP .EQ. 1 )
    + WRITE (25,9008) UB08J, LB08J, FNAME
9008 FORMAT (ZF25.5, ' ', I, A20)
  IF ( LOOP .NE. 0 ) GO TO 200
8900 CONTINUE
  CLOSE(UNIT=LOUT)
  CLOSE(UNIT=24)
  IF ( LOOP .EQ. 1 ) CLOSE(UNIT=25)

```

```

C
=====
C

```

```

9100 FORMAT (515,16X,F12.6)
9200 FORMAT (' Lot-for-lot solution : ')
9300 FORMAT (1X,'Initial SPCAP',/,5F15.2,S(/,5F15.2) )
9400 FORMAT (' Iteration # = ',I6)
9500 FORMAT (' Problem has no capacitated facilities')
9600 FORMAT (/, ' Step-size = ',F15.5)
C

```

```

STOP
END
C DIR.FOR 6/14/85 79 LINES
C
=====
C

```

```

SUBROUTINE DIR

```

```

C ALPHA must be initialized to ONE in main program
C

```

```

C ***** START OF DIS-STANDARD COMMON BLOCK *****
C

```

```

REAL CINV(36),CPRO(36),CSET(36),COVR,CAP(30),UTIL(30),
+ TIMONE(36),TIMSE(36),DEM(36,30),SCHED(36,30),
+ SPCAP(30),SUBGRD(30),OLDDIR(30),ALPHA,WRMGRD,
+ STPSIZ,UB08J,UBINV,UBPRD,UBSET,UBOVR,UBSKD(36,30),
+ UBSPC(30),LB08J,LBINV,LBPRD,LBSET,LBSPC(30)
INTEGER NITEM,NTIM,ITERAT,LBITER,LBITER,
+ LOUT,PRTOI,PRTOI,PRTOI
COMMON /BILL1/CINV,CPRO,CSET,COVR,CAP,UTIL,TIMONE,TIMSET,
+ DEM,SCHED,SPCAP,SUBGRD,OLDDIR,ALPHA,WRMGRD,
+ STPSIZ,UB08J,UBINV,UBPRD,UBSET,UBOVR,
+ UBSKD,UBSPC,LB08J,LBINV,LBPRD,LBSET,LBSPC
COMMON /BILL1/NITEM,NTIM,ITERAT,LBITER,LBITER,

```



```

DO 249 I = 1, NITEM
  CPRD(I) = 0.
C
***** SET INITIAL VALUE OF STPSIZ *****
C
C (EQUAL TO .25 OR .5 * MAX(CINW) * DIMENSION OF DIRECTION VECTOR)
C
  STPSIZ = 1.E-20
  SETTIM = 0
  DO 499 I = 1, NITEM
    IF ( CINW(I) .GT. STPSIZ ) STPSIZ = CINW(I)
    IF ( TIMSET(I) .GT. 0.001 ) SETTIM = 1
  CONTINUE
499 STPSIZ = 0.5 * STPSIZ * FLOAT(NITEM)
    IF ( SETTIM .EQ. 1 ) STPSIZ = 0.5 * STPSIZ
C
=====
C Initialize variables to be used later
C
  UBOBJ = 1.E30
  UBSET = 0.
  UBPRD = 0.
  UBINV = 0.
  LBOBJ = -1.E30
  LBSET = 0.
  LBPRD = 0.
  LBINV = 0.
  DO 1820 I = 1, NITEM
    DO 1820 T = 1, NTIM
      SCHED(I,T) = DEM(I,T)
      UBSKD(I,T) = 0.
  1820 CONTINUE
    DO 1860 T = 1, NTIM
      UBSPC(T) = 0.
      SPCAP(T) = 0.
      LBSPC(T) = 0.
      SUBGRD(T) = 0.
      OLDDIR(T) = 0.
      UTIL(T) = 0.
  1860 CONTINUE
    CLOSE (21)
    CLOSE (22)
C
=====
C
900 FORMAT (15I5)
902 FORMAT (15F5.0)
904 FORMAT (10X,F5.2,5X,F5.2,F5.1,F5.0)
906 FORMAT (5X,15F5.0)
910 FORMAT (15F5.1)
C
RETURN
END
C CHDOVR.FOR 6/14/85 357 LINES
=====
C
SUBROUTINE MOOVR
C
C This smoothing routine myopically minimizes the use of setup time
C
C ***** START OF DIS-STANDARD COMMON BLOCK *****
C
  REAL CINW(36), CPRD(36), CSET(36), COVR, CAP(30), UTIL(30),

```

172

```

+ TIMONE(36), TIMSET(36), DEM(36,30), SCHED(36,30),
+ SPCAP(30), SUBGRD(30), OLDDIR(30), ALPHA, WRMGRD,
+ STPSIZ, UBOBJ, UBINV, UBPRD, UBSET, UBOVR, UBSKD(36,30),
+ UBSPC(30), LBOBJ, LBINV, LBPRD, LBSET, LBSPC(30)
+ INTEGER NITEM, NTIM, ITERAT, LBITER, UBITER,
+ LOU1, PRTO1, PRIT1, PRTW
+ COMMON /BILLR/CINW, CPRD, CSET, COVR, CAP, UTIL, TIMONE, TIMSET,
+ DEM, SCHED, SPCAP, SUBGRD, OLDDIR, ALPHA, WRMGRD,
+ STPSIZ, UBOBJ, UBINV, UBPRD, UBSET, UBOVR,
+ UBSKD, UBSPC, LBOBJ, LBINV, LBPRD, LBSET, LBSPC
+ COMMON /BILLI/NITEM, NTIM, ITERAT, LBITER, UBITER,
+ LOU1, PRTO1, PRIT1, PRTW
C
***** END OF DIS-STANDARD COMMON BLOCK *****
C
  REAL OVRTIM(30), COST(36), USE(36), MOVANT, MWCOST, SAVED
  REAL CUMOVR, CUMINV, EXTRA, AVUTIL, TOTCAP
  INTEGER SETTIM, MOVIT, I, T, INTO, OUTOF, TIMFOR, PASS
  INTEGER SHFORW(30), SHBACK(30)
C
=====
C
  Carry out a Push-Back smoothing of the schedule.
C Smooth out of period OUTOF into period OUTOF-1. Minimizing setup
C time is the primary criterion for item selection at all times.
C The algorithm works on OUTOF by proceeding backwards in time
C from period NTIM through period 1. OVRTIM is the amount of
C overtime requirements in a period. MOOVR tries to shift
C production out of periods with positive levels of OVRTIM.
C
  For each period OUTOF, first try to shift full batches which
C will save a full or partial setup. Next, try to shift full or
C partial batches which can be done without forcing an additional
C setup (in period INTO). This will involve either moving a split
C lot into a period already with a setup, or shifting a full lot
C into a non-setup period. Give preference to splitting lots, since
C it doesn't require earlier an setup. Break tie situations by
C using criterion of minimum per unit inventory holding cost.
C Never split a lot forcing a net increase in total number of
C setups unless smoothing can be accomplished no other way.
C When this happens, smooth based on minimum setup time added
C per unit moved in the shift (minimizing setup time)
C
  If, after backward smoothing, utilization exceeds capacity in
C any period, carry out a forward smoothing. Smooth forward
C one period at a time, based on myopically minimizing any added
C setup time. Note also that the cumulative amount of production
C cannot fall below cumulative requirements for any item in any
C period.
C
  Then, run alternative version of backward smoothing
C procedure; for each period, try to shift to period OUTOF-1
C to save a setup, then OUTOF-2, OUTOF-3, .... (If there are
C no setup times, only smooth to OUTOF-1.) (This is not
C quite as myopic as is the first pass)
C
=====
C
  PASS = 1
  SETTIM = 0
  DO 1100 I = 1, NITEM
    IF ( TIMSET(I) .GT. .001 ) SETTIM = 1
  1100 CONTINUE
    DO 1400 T = 1, NTIM
      UTIL(T) = 0.
      DO 1200 I = 1, NITEM

```



```

+ IF ( ( SCHED(1,INTO) .LE. .00001 ) .OR.
  ( USE(1) .GE. OVRTIM(OUTOF) ) ) GO TO 5500
  SAVED = TIMSET(1)
  USE(1) = USE(1) + TIMSET(1)
+ IF ( USE(1) .GT. OVRTIM(OUTOF) ) SAVED = TIMSET(1)
  + OVRTIM(OUTOF) - SCHED(1,OUTOF) * TIMONE(1)
  USE(1) = USE(1) - TIMSET(1)
  COST(1) = -1. * SAVED / USE(1)
  IF ( COST(1) .GT. MNCOST ) GO TO 5500
+ IF ( COST(1) .EQ. MNCOST ) .AND. (CINV(1) .GE. CINV(MOVIT) )
  GO TO 5500
  MNCOST = COST(1)
  MOVIT = 1
5500 CONTINUE
  IF ( ( ( MOVIT .EQ. 0 ) .AND. ( INTO .GT. 1 ) ) .AND.
  ( ( PASS .GT. 1 ) .AND. ( SETTIM .EQ. 1 ) ) ) GO TO 5001
+ IF ( MOVIT .EQ. 0 ) GO TO 6000
C Can save at least part of a setup
  SCHED(MOVIT,INTO) = SCHED(MOVIT,INTO) + SCHED(MOVIT,OUTOF)
  SCHED(MOVIT,OUTOF) = 0.
  UTIL(INTO) = UTIL(INTO) + USE(MOVIT)
  UTIL(OUTOF) = UTIL(OUTOF) - USE(MOVIT) - TIMSET(MOVIT)
  OVRTIM(INTO) = OVRTIM(INTO) + USE(MOVIT)
  OVRTIM(OUTOF) = OVRTIM(OUTOF) - USE(MOVIT) - TIMSET(MOVIT)
  IF ( OVRTIM(OUTOF) .LE. .00001 ) GO TO 8900
  GO TO 5100
C Cannot save any setup. Try to split lot with no added setup time.
C Use criterion of minimum holding cost
6000 CONTINUE
  INTO = OUTOF
6001 CONTINUE
  INTO = INTO - 1
  MNCOST = 1.E29
  MOVIT = 0
  MOVAMT = 0.
  DO 6500 I = 1, NITEM
    IF ( SCHED(I,OUTOF) .LE. .00001 ) GO TO 6500
    IF ( ( TIMSET(I) .LE. .00001 ) .AND.
      ( INTO .LT. (OUTOF - 1) ) ) GO TO 6500
+ USE(1) = TIMONE(1) * SCHED(I,OUTOF)
  IF ( SCHED(I,INTO) .LE. .00001 ) GO TO 6500
  COST(1) = CINV(1)
  IF ( COST(1) .GE. MNCOST ) GO TO 6500
  MNCOST = COST(1)
  MOVIT = 1
  MOVAMT = OVRTIM(OUTOF) / TIMONE(1)
  USE(1) = OVRTIM(OUTOF)
6500 CONTINUE
  IF ( ( ( MOVIT .EQ. 0 ) .AND. ( INTO .GT. 1 ) ) .AND.
  ( ( PASS .GT. 1 ) .AND. ( SETTIM .EQ. 1 ) ) ) GO TO 6001
+ IF ( MOVIT .EQ. 0 ) GO TO 8000
C Can avoid incurring an extra setup
  OVRTIM(OUTOF) = OVRTIM(OUTOF) - USE(MOVIT)
  OVRTIM(INTO) = OVRTIM(INTO) + USE(MOVIT)
  UTIL(OUTOF) = UTIL(OUTOF) + USE(MOVIT)
  UTIL(INTO) = UTIL(INTO) - USE(MOVIT)
  SCHED(MOVIT,INTO) = SCHED(MOVIT,INTO) + MOVAMT
  SCHED(MOVIT,OUTOF) = SCHED(MOVIT,OUTOF) - MOVAMT
  IF ( OVRTIM(OUTOF) .LE. .00001 ) GO TO 8900
8000 CONTINUE
  INTO = OUTOF - 1
C Shift a partial or full lot, forcing a new setup in CH0
C Criterion is minimum added setup time. Charge double
C against full lot which doesn't eliminate all overtime,
C since another item (setup added) will be necessary.

```

174

```

8001 CONTINUE
  MNCOST = 1.E29
  MOVIT = 0
  MOVAMT = 0.
  DO 8500 I = 1, NITEM
    IF ( SCHED(I,OUTOF) .LE. .00001 ) GO TO 8500
    SAVED = SCHED(I,OUTOF) * TIMONE(1) + TIMSET(1)
    IF ( SAVED .GT. OVRTIM(OUTOF) ) SAVED = OVRTIM(OUTOF)
    COST(1) = TIMSET(1) / SAVED
    USE(1) = SCHED(I,OUTOF) * TIMONE(1)
    IF ( USE(1) .GT. OVRTIM(OUTOF) ) GO TO 8200
    USE(1) = SCHED(I,OUTOF) * TIMONE(1) + TIMSET(1)
    IF ( USE(1) .GT. OVRTIM(OUTOF) ) COST(1) = 2. * COST(1)
    GO TO 8300
8200 CONTINUE
  USE(1) = OVRTIM(OUTOF) + TIMSET(1)
8300 CONTINUE
  IF ( COST(1) .GT. MNCOST ) GO TO 8500
+ IF ( COST(1) .EQ. MNCOST ) .AND. (CINV(1) .GE. CINV(MOVIT) )
  GO TO 8500
  MNCOST = COST(1)
  MOVIT = 1
  MOVAMT = OVRTIM(OUTOF) / TIMONE(1)
  IF ( MOVAMT .GT. SCHED(1,OUTOF) ) MOVAMT = SCHED(1,OUTOF)
8500 CONTINUE
  IF ( MOVIT .EQ. 0 ) GO TO 8900
  OVRTIM(INTO) = OVRTIM(INTO) + USE(MOVIT)
  UTIL(INTO) = UTIL(INTO) + USE(MOVIT)
  SAVED = OVRTIM(OUTOF)
+ IF ( ( SCHED(MOVIT,OUTOF) * TIMONE(MOVIT) ) .LE. OVRTIM(OUTOF) )
  + SAVED = SCHED(MOVIT,OUTOF) * TIMONE(MOVIT) + TIMSET(MOVIT)
  OVRTIM(OUTOF) = OVRTIM(OUTOF) - SAVED
  UTIL(OUTOF) = UTIL(OUTOF) - SAVED
  SCHED(MOVIT,INTO) = SCHED(MOVIT,INTO) + MOVAMT
  SCHED(MOVIT,OUTOF) = SCHED(MOVIT,OUTOF) - MOVAMT
  IF ( OVRTIM(OUTOF) .GT. .00001 )
+ GO TO 8001
C
8900 CONTINUE
  SHBACK(OUTOF) = 1
  IF ( ( PASS .GT. 2 ) .AND. (OUTOF .EQ. NTIM) ) SHFORW(NTIM) = 1
9000 CONTINUE
C
  DO 9100 T = 1, NTIM
    IF ( UTIL(T) .LE. CAP(T) ) GO TO 9100
    IF ( PASS .LE. 2 ) GO TO 2000
    SHBACK(T) = 2
    GO TO 9200
9100 CONTINUE
9200 CONTINUE
C
  IF ( PARTIO .LT. 9 ) GO TO 9600
  C OVRTIM is used here as a temporary array in place of UTIL
  C for printing out UTIL
  AVUTIL = 0.
  TOTCAP = 0.
  DO 9400 T = 1, NTIM
    AVUTIL = AVUTIL + UTIL(T)
    TOTCAP = TOTCAP + CAP(T)
    OVRTIM(T) = 100. * UTIL(T) / CAP(T)
9400 CONTINUE
  AVUTIL = 100. * AVUTIL / TOTCAP
  WRITE (LOUT,9920) AVUTIL
  WRITE (LOUT,9930) ( OVRTIM(T), T = 1, NTIM )
C
9600 CONTINUE

```

```

DO 9800 T = 1, NTIM
  IF ( SMBACK(T) .EQ. 1 ) UTIL(T) = 1.0001 * CAP(T)
  IF ( SMFORW(T) .EQ. 1 ) UTIL(T) = -.1.
9800 CONTINUE
  IF ( SMBACK(T) .EQ. 2 ) UTIL(T) = -.2.
C
=====
C
9910 FORMAT ( ' Facility util before NOOVR (average = ',F6.2,') : ' )
9920 FORMAT ( ' Facility util after NOOVR (average = ',F6.2,') : ' )
9930 FORMAT ( 1X,5F7.2,2X,5F7.2,5( /,1X,5F7.2,2X,5F7.2) )
C
C
      RETURN
      END
C  COUT.FOR 6/14/85 121 LINES
C
=====
C
      SUBROUTINE OUT
C
***** START OF DIS-STANDARD COMMON BLOCK *****
C
      REAL CINV(36), CPRD(36), CSET(36), COVR, CAP(30), UTIL(30),
      TIMONE(36), TIMSET(36), OEM(36,30), SCHED(36,30),
      + SPCAP(30), SUBGRD(30), OLDDIR(30), ALPHA, NRMGRD,
      + STPSIZ,UBOBJ,UBINV,UBPRD,UBSET,UBOVR,UBSKD(36,30),
      + UBSPC(30),LBOBJ,LBINV,LBPRD,LBSET,LBSPC(30)
      + INTEGER NTIM,NTIM,ITERAT,LBITER,UBITER,
      + LOUT,PRATIO,PRIT1,PRIT2
      COMMON /BILLR/CINV,CPRD,CSET,COVR,CAP,UTIL,TIMONE,TIMSET,
      + DEM,SCHED,SPCAP,SUBGRD,OLDDIR,ALPHA,NRMGRD,
      + STPSIZ,UBOBJ,UBINV,UBPRD,UBSET,UBOVR,
      + UBSKD,UBSPC,LBOBJ,LBINV,LBPRD,LBSET,LBSPC
      COMMON /BILLI/NTIM,NTIM,ITERAT,LBITER,UBITER,
      + LOUT,PRATIO,PRIT1,PRIT2
C
***** END OF DIS-STANDARD COMMON BLOCK *****
C
      INTEGER I,T
      REAL AVUTIL,TOTCAP
C
=====
C
      IF ( PRATIO .LE. -3 ) GO TO 6000
      IF ( PRATIO .GT. 0 ) WRITE (LOUT,5100)
      IF ( PRATIO .LE. -2 ) GO TO 2000
      WRITE (LOUT,5200)
      WRITE (LOUT,7800) ( SPCAP(T), T = 1, NTIM )
      IF ( PRATIO .LE. 4 ) GO TO 1500
      WRITE (LOUT,5100)
      WRITE (LOUT,8920) LBINV, LBPRD, LBSET
      WRITE (LOUT,9100) LBOBJ,
1500 IF ( PRATIO .LE. 3 ) GO TO 2000
      WRITE (LOUT,9200) LBITER
      WRITE (LOUT,5300)
      WRITE (LOUT,7800) ( LBSPC(T), T = 1, NTIM )
      IF ( PRATIO .GT. 4 ) WRITE (LOUT,5100)
2000 CONTINUE
C
      IF ( PRATIO .LE. -1 ) GO TO 6000
      DO 2200 I = 1, NTIM
        DO 2200 I = 1, NTIM
          SCHED(I,T) = UBSKD(I,T)
2200 CONTINUE

```

175

```

C
DO 3200 T = 1, NTIM
  UTIL(T) = 0.
3200 CONTINUE
  DO 3400 I = 1, NITEM
    DO 3400 I = 1, NTIM
      IF ( SCHED(I,T) .GT. .00001 )
        + UTIL(T) = UTIL(T) + TIMSET(I) + SCHED(I,T) * TIMONE(I)
3400 CONTINUE
3600 CONTINUE
  AVUTIL = 0.
  TOTCAP = 0.
  DO 3800 T = 1, NTIM
    AVUTIL = AVUTIL + UTIL(T)
    TOTCAP = TOTCAP + CAP(T)
    UTIL(T) = 100. * UTIL(T) / CAP(T)
3800 CONTINUE
  AVUTIL = 100. * AVUTIL / TOTCAP
  WRITE (LOUT,6800) AVUTIL
  WRITE (LOUT,7600) ( UTIL(T), T = 1, NTIM )
  IF ( PRATIO .LE. 1 ) GO TO 5000
  WRITE (LOUT,5400)
  WRITE (LOUT,7800) ( UBSPC(T), T = 1, NTIM )
  IF ( PRATIO .LE. 4 ) GO TO 5000
  WRITE (LOUT,8100)
  DO 4200 I = 1, NITEM
    WRITE (LOUT,8300) I, ( UBSKD(I,T), T=1,NTIM )
4200 CONTINUE
5000 CONTINUE
  WRITE (LOUT,8940) UBINV, UBSET, UBOVR
C
6000 CONTINUE
C
  WRITE (LOUT,9101) LBOBJ, LBITER
  WRITE (LOUT,9300) UBOBJ, UBITER
  WRITE (LOUT,9400) ITERAT
C
C
CCC OPEN (25, FILE='DCH.OUT', STATUS='OLD')
CCC WRITE (25,9301) UBOBJ, LBOBJ
CCC CLOSE (25)
CCC CLOSE (LOUT)
C (PCVERSION) WRITE(27,9302) ( LBSPC(T), T = 1, NTIM )
C
=====
C
5100 FORMAT (1X,78('=1'),/)
5200 FORMAT ( ' FINAL SPCAP' )
5300 FORMAT ( /, ' LOWER BOUND SPCAP',/ )
5400 FORMAT ( /, ' BEST SOLUTION SPCAP' )
6800 FORMAT ( ' Best solution facility utilization (average = ',
      + F6.2,') :' )
7600 FORMAT (1X,5F7.2,2X,5F7.2,2( /,1X,5F7.2,2X,5F7.2) )
7800 FORMAT (1X,5F15.5,/,5(1X,5F15.5,/) )
8100 FORMAT ( /, ' Schedule by item ' )
8300 FORMAT ( /,1X,13,5F15.2,59(/,4X,5F15.2) )
8920 FORMAT ( ' cost of inventory =',F19.2,
      + ' cost of production =',F19.2,
      + ' cost of setups =',F19.2 )
8940 FORMAT ( ' cost of inventory =',F19.2,
      + ' cost of setups =',F19.2,
      + ' cost of overtime =',F19.2 )
9100 FORMAT ( ' LOWER BOUND cost =',F19.2 )
9101 FORMAT ( ' LOWER BOUND cost =',F18.5,
      + ' last improvement on iteration ',14)
9200 FORMAT ( ' Last LB improvement at iteration number ',16)
9300 FORMAT ( ' BEST SOLUTION objective function value =',F16.5,

```

```

+      ' iteration ',I4)
9301 FORMAT (2F25.5 , 1)
9302 FORMAT (4X, '1', /, 7F515.6, /) )
9400 FORMAT (' Program stopped after',I6,' iterations')
C
C
C RETURN
C END
C CSMOD.FOR 5/23/86
C *****
C *****
C SUBROUTINE SMOOTH
C
C This smoothing routine myopically minimizes Lagrangian costs
C ***** START OF DIS-STANDARD COMMON BLOCK *****
C
C REAL CINV(36),CPRD(36),CSET(36),COVR,CAP(30),UTIL(30),
+ TIMONE(36),TIMSET(36),DEM(36,30),SCHED(36,30),
+ SPCAP(30),SUBGRD(30),OLDDIR(30),ALPHA,HRMGRD,
+ STPSIZ,UBOJ,UBINV,UPBRD,UBSET,UBOVR,UBSKD(36,30),
+ UBSPC(30),LBOBJ,LBINV,LBPRD,LBSET,LBSPC(30)
+ INTEGER NITEM,NTIM,ITERAT,LBITER,UBITER,
+ LOU,PRTIO,PRTIT,PRTWJ
C COMMON /BILLR/CINV,CPRD,CSET,COVR,CAP,UTIL,TIMONE,TIMSET,
+ DEM,SCHED,SPCAP,SUBGRD,OLDDIR,ALPHA,HRMGRD,
+ STPSIZ,UBOJ,UBINV,UPBRD,UBSET,UBOVR,
+ UBSKD,UBSPC,LBOBJ,LBINV,LBPRD,LBSET,LBSPC
C COMMON /BILL1/NITEM,NTIM,ITERAT,LBITER,UBITER,
+ LOU,PRTIO,PRTIT,PRTWJ
C ***** END OF DIS-STANDARD COMMON BLOCK *****
C
C REAL OVRTIM(30),COST(36),USE(36),MOVMT,MNCOST,SAVED,CLOT,TLOT
C REAL CUMOVR(31),AHM,INVS,SAVESET,MOVUSE,EXTRA,MXCOST
C INTEGER MOVMT,I,T,TT,INTO,OUTOF,PASS,DOTEMP,MOVWTO,SETTIM
C
C CUMOVR is offset by one period
C ( since CUMOVR(I-1) is needed for T = 1 )
C *****
C
C Carry out a Push-Back smoothing of schedule.
C Smooth out of period OUTOF into period OUTOF-1. If OUTOF-1 was
C not previously setup for a particular item, also consider
C smoothing it back into the closest period with a setup.
C Minimizing Lagrangian costs is the criterion for item selection
C at all times.
C The algorithm works on OUTOF by proceeding backwards in time
C from period NTIM through period 1. OVRTIM is the amount of
C overtime requirements in a period. SMOOTH tries to shift
C production out of periods with positive levels of OVRTIM.
C
C If, after backward smoothing, the schedule is infeasible
C (requires overtime), smooth forward, when possible. Smooth
C forward when cumulative utilization exceeds cumulative capacity
C in any period. This should provide the feasibility to enable a
C second attempt at smoothing backward.
C
C After again proceeding with the regular reverse smoothing,
C procedure, if utilization exceeds capacity in any period, carry
C out another forward smoothing, this time to eliminate OVRTIM.
C Smooth forward (one period forward only) with the same logic as
C in the reverse procedure. Note that the cumulative amount of

```

176

```

C production cannot fall below cumulative requirements for any item
C in any period (no backlogging is allowed).
C
C *****
C
C PASS = 1
C
C CUMOVR(1) = 0.
C DO 1400 I = 1, NTIM
C UTIL(T) = 0.
C DO 1200 I = 1, NITEM
C IF ( SCHED(I,T) .GT. .00001 )
+ UTIL(T) = UTIL(T) + TIMSET(I) + SCHED(I,T) * TIMONE(I)
1200 CONTINUE
C OVRTIM(T) = UTIL(T) - CAP(T)
1400 CUMOVR(T+1) = CUMOVR(T) + OVRTIM(T)
C CONTINUE
C
C SETTIM = 0
C DO 1600 I = 1, NITEM
C IF ( TIMSET(I) .LE. .001 ) GO TO 1600
C SETTIM = 1
C GO TO 1800
1600 CONTINUE
1800 CONTINUE
C IF (SETTIM .EQ. 1) GO TO 6000
C *****
C
C 2000 CONTINUE
C
C Smooth forward
C
C DOTEMP = NTIM - 1
C DO 5500 T = 1, DOTEMP
C IF ( ( PASS .EQ. 1 ) .AND.
+ ( CUMOVR(T+1) .LE. .00001 ) ) GO TO 5500
C IF ( ( PASS .GT. 1 ) .AND.
+ ( OVRTIM(T) .LE. .00001 ) ) GO TO 5500
C OUTOF = T
C INTO = I + 1
2100 CONTINUE
C MNCOST = 1.E29
C MOVMT = 0
C MOVWTO = 0.
C DO 3000 I = 1, NITEM
C COST(I) = 1.E30
C IF ( SCHED(I,OUTOF) .LE. .00001 ) GO TO 3000
C EXTRA = 1.E29
C CUMINV = 0.
C DO 2500 TT = 1, T
C CUMINV = CUMINV + SCHED(I,TT) - DEM(I,TT)
C IF ( ( TT .GE. OUTOF ) .AND. ( CUMINV .LT. EXTRA ) )
+ EXTRA = CUMINV
2500 CONTINUE
C USE(I) = EXTRA * TIMONE(I)
C IF ( ( PASS .GT. 1 ) .AND. ( USE(I) .GT. OVRTIM(T) ) )
+ USE(I) = OVRTIM(T)
C IF ( USE(I) .LE. .00001 ) GO TO 3000
C COST(I) = 0.
C SHIFT = USE(I)
C IF ( USE(I) .LT. ( SCHED(I,OUTOF) * TIMONE(I) ) ) GO TO 2600
C USE(I) = SCHED(I,OUTOF) * TIMONE(I)
C SHIFT = USE(I) + TIMSET(I)
C COST(I) = -1. * CSET(I) - TIMSET(I) * SPCAP(OUTOF)
2600 CONTINUE

```

```

      IF ( SCHED(I,INTO) .LE. .00001 )
      +   COST(I) = COST(I) + CSET(I) + TIMSET(I) * SPCAP(INTO)
      COST(I) = COST(I) + USE(I) * ( SPCAP(INTO) - SPCAP(OUTOF) )
      +   ( CINV(I) * FLOAT(INTO-OUTOF) * USE(I)/TIMONE(I) )
      COST(I) = COST(I) / SHIFT
      IF ( COST(I) .GE. MNCOST ) GO TO 3000
      MNCOST = COST(I)
      MOVIT = I
      MOVAMT = USE(I) / TIMONE(I)
3000   CONTINUE
4500   CONTINUE
      IF ( ( PASS .EQ. 1 ) .AND. ( MOVIT .EQ. 0 ) ) GO TO 5400
C Above only occurs with CUMOVR (on first forward pass)
      IF ( ( PASS .GT. 1 ) .AND. ( MOVIT .EQ. 0 ) ) GO TO 5500
      IF ( SCHED(MOVIT,INTO) .GE. .00001 ) GO TO 4600
      UTIL(INTO) = UTIL(INTO) + TIMSET(MOVIT)
      OVRTIM(INTO) = OVRTIM(INTO) + TIMSET(MOVIT)
      IF ( SCHED(MOVIT,OUTOF) .GT. MOVAMT )
      +   CUMOVR(INTO+1) = CUMOVR(INTO+1) + TIMSET(MOVIT)
4600   CONTINUE
      UTIL(INTO) = UTIL(INTO) + USE(MOVIT)
      OVRTIM(INTO) = OVRTIM(INTO) + USE(MOVIT)
      IF ( SCHED(MOVIT,OUTOF) .GT. MOVAMT ) GO TO 5000
      UTIL(OUTOF) = UTIL(OUTOF) - TIMSET(MOVIT)
      OVRTIM(OUTOF) = OVRTIM(OUTOF) - TIMSET(MOVIT)
      DO 4900 TT = OUTOF, 1
      +   CUMOVR(TT+1) = CUMOVR(TT+1) - TIMSET(MOVIT)
4900   CONTINUE
5000   CONTINUE
      UTIL(OUTOF) = UTIL(OUTOF) - USE(MOVIT)
      OVRTIM(OUTOF) = OVRTIM(OUTOF) - USE(MOVIT)
      DO 5100 TT = OUTOF, 1
      +   CUMOVR(TT+1) = CUMOVR(TT+1) - USE(MOVIT)
5100   CONTINUE
      SCHED(MOVIT,INTO) = SCHED(MOVIT,INTO) + MOVAMT
      SCHED(MOVIT,OUTOF) = SCHED(MOVIT,OUTOF) - MOVAMT
      IF ( ( PASS .GT. 1 ) .AND.
      +   ( OVRTIM(OUTOF) .GT. .00001 ) ) GO TO 2100
      IF ( ( PASS .GT. 1 ) .AND.
      +   ( OVRTIM(OUTOF) .LE. .00001 ) ) GO TO 5500
      IF ( ( PASS .EQ. 1 ) .AND.
      +   ( CUMOVR(OUTOF+1) .LE. .00001 ) ) GO TO 5500
C
      COST(MOVIT) = 1.E30
      MNCOST = 1.E29
      MOVIT = 0
      MOVAMT = 0
      DO 5200 I = 1, NITEM
      IF ( COST(I) .GE. MNCOST ) GO TO 5200
      MNCOST = COST(I)
      MOVIT = I
      MOVAMT = USE(I) / TIMONE(I)
5200   CONTINUE
      GO TO 4500
5400   CONTINUE
C CUMOVR(T+1) > 0; CAN IT BE FIXED BY UNBATCHING AN ITEM EARLIER ?
C Only do this for CUMOVR (on first forward pass)
      OUTOF = OUTOF - 1
C ( INTO STILL = 1 + 1; NOW TEST OUTOF <= I - 1 )
      IF ( OUTOF .GE. 1 ) GO TO 2100
5500   CONTINUE
      IF ( PASS .GT. 1 ) GO TO 9100
      PASS = PASS + 1

```

```

C
C-----
C

```

```

C Smooth backward
C
6000   CONTINUE
      DO 9000 TT = 2, NTIM
      +   OUTOF = NTIM + 2 - TT
      IF ( OVRTIM(OUTOF) .LE. .00001 ) GO TO 9000
6100   CONTINUE
      MNCOST = 1.E29
      MOVIT = 0
      MOVAMT = 0
      DO 8000 I = 1, NITEM
      +   COST(I) = 1.E30
      USE(I) = 0
      IF ( SCHED(I,OUTOF) .LE. .00001 ) GO TO 8000
      INTO = OUTOF - 1
6500   CONTINUE
      COST(I) = 0
      USE(I) = TIMONE(I) + SCHED(I,OUTOF)
      SAVED = USE(I) + TIMSET(I)
      IF ( SAVED .GT. OVRTIM(OUTOF) ) SAVED = OVRTIM(OUTOF)
      SAVSET = SAVED - USE(I)
      IF ( USE(I) .LE. OVRTIM(OUTOF) )
      +   COST(I) = -1. * CSET(I) - SAVSET * SPCAP(OUTOF)
      IF ( SCHED(I,INTO) .LE. .00001 )
      +   COST(I) = COST(I) + CSET(I) + ( TIMSET(I) * SPCAP(INTO) )
      IF ( USE(I) .LE. OVRTIM(OUTOF) ) GO TO 6990
      CLOT = ( USE(I) - OVRTIM(OUTOF) ) * ( SPCAP(INTO)
      +   + ( CINV(I) * (OUTOF-INTO) / TIMONE(I) ) )
      IF ( CLOT .GE. CSET(I) ) GO TO 6970
      TLOT = USE(I)
      IF ( SCHED(I,INTO) .LE. .00001 ) TLOT = TLOT + TIMSET(I)
      DOTEMP = OUTOF - 1
      DO 6960 I = INTO, DOTEMP
      +   ISTCLM = TLOT + CUMOVR(I+1)
      IF ( ISTCLM .GT. .00001 ) GO TO 6970
6960   CONTINUE
      GO TO 6980
6970   CONTINUE
C Split a lot
      USE(I) = OVRTIM(OUTOF)
      GO TO 6990
6980   CONTINUE
      COST(I) = COST(I) + SPCAP(INTO)*(USE(I) - OVRTIM(OUTOF))
      - CSET(I)
      +
6990   CONTINUE
      IF ( INTO .GE. ( OUTOF - 1 ) ) GO TO 6999
      DOTEMP = OUTOF - 1
      DO 6991 T = INTO, DOTEMP
      IF ( ( CUMOVR(T+1) + USE(I) ) .GT. .00001 ) GO TO 8000
6991   CONTINUE
6999   CONTINUE
      COST(I) = ( COST(I) + USE(I) * CINV(I) * (OUTOF-INTO)
      +   / TIMONE(I) ) / SAVED
      IF ( COST(I) .GE. MNCOST ) GO TO 7000
      MNCOST = COST(I)
      MOVIT = I
      MOVAMT = USE(I) / TIMONE(I)
      MOVINTO = INTO
      MOVUSE = USE(I)
7000   CONTINUE
      IF ( ( INTO .LT. (OUTOF-1) ) .OR. ( SCHED(I,INTO) .GT. .00001 ) )
      +   GO TO 8000
7001   CONTINUE
      INTO = INTO - 1
      IF ( SCHED(I,INTO) .GT. .00001 ) GO TO 6500
      IF ( INTO .GT. 2 ) GO TO 7001

```

```

8000 CONTINUE
C
IF ( MOVIT .EQ. 0 ) GO TO 9000
IF ( SCHED(MOVIT,MOVNTO) .GE. .00001 ) GO TO 7500
UTIL(MOVNTO) = UTIL(MOVNTO) + TIMSET(MOVIT)
OVRTIM(MOVNTO) = OVRTIM(MOVNTO) + TIMSET(MOVIT)
DOTEHP = COUTOF - 1
DO 7490 T = MOVNTO, DOTEHP
CUMOVR(T+1) = CUMOVR(T+1) + TIMSET(MOVIT)
7490 CONTINUE
7500 CONTINUE
UTIL(MOVNTO) = UTIL(MOVNTO) + MOVUSE
OVRTIM(MOVNTO) = OVRTIM(MOVNTO) + MOVUSE
DOTEHP = COUTOF + 1
DO 7510 T = MOVNTO, DOTEHP
CUMOVR(T+1) = CUMOVR(T+1) + MOVUSE
7510 CONTINUE
IF ( SCHED(MOVIT,OUTOF) .GT. MOVAMT )
+ GO TO 7600
UTIL(OUTOF) = UTIL(OUTOF) - TIMSET(MOVIT)
OVRTIM(OUTOF) = OVRTIM(OUTOF) - TIMSET(MOVIT)
IF ( SCHED(MOVIT,MOVNTO) .GT. .00001 )
+ CUMOVR(OUTOF+1) = CUMOVR(OUTOF+1) - TIMSET(MOVIT)
7600 CONTINUE
UTIL(OUTOF) = UTIL(OUTOF) - MOVUSE
OVRTIM(OUTOF) = OVRTIM(OUTOF) - MOVUSE
SCHED(MOVIT,MOVNTO) = SCHED(MOVIT,MOVNTO) + MOVAMT
SCHED(MOVIT,OUTOF) = SCHED(MOVIT,OUTOF) - MOVAMT
IF ( OVRTIM(OUTOF) .GT. .00001 ) GO TO 6100
9000 CONTINUE
IF ( ( SETIM .EQ. 1 ) .AND. ( PASS .LE. 2 ) ) GO TO 2000
C
C
9100 CONTINUE
DO 9400 DOTEHP = 2, NTIM
T = NTIM + 2 - DOTEHP
9101 CONTINUE
IF ( OVRTIM(T) .GE. -0.0001 ) GO TO 9400
MXCOST = 0.
MOVIT = 0
MOVAMT = 0.
DO 9300 I = 1, NITEM
COST(I) = 0.
IF ( SCHED(I,T) .LE. 0.0001 ) GO TO 9300
CUMINV = 0.
DO 9200 TT = 2, T
CUMINV = CUMINV + SCHED(I,TT-1) - DEM(I,TT-1)
9200 CONTINUE
IF ( CUMINV .LE. 0.0001 ) GO TO 9300
COST(I) = CUMINV / TIMONE(I)
IF ( COST(I) .LT. MXCOST ) GO TO 9300
MXCOST = COST(I)
MOVIT = I
USE(I) = CUMINV * TIMONE(I)
IF ( USE(I) .GT. ( -1. * OVRTIM(T) )
+ USE(I) = -1. * OVRTIM(T)
MOVAMT = USE(I) / TIMONE(I)
CONTINUE
9300 IF ( MOVIT .EQ. 0 ) GO TO 9400
SCHED(MOVIT,T) = SCHED(MOVIT,T) + MOVAMT
OVRTIM(T) = OVRTIM(T) + USE(MOVIT)
OUTOF = T
9320 CONTINUE
OUTOF = OUTOF - 1
IF ( SCHED(MOVIT,OUTOF) .LT. 0.0001 ) GO TO 9320
IF ( SCHED(MOVIT,OUTOF)+0.0001 .LT. MOVAMT )

```

```

+ GO TO 9340
OVRTIM(OUTOF) = OVRTIM(OUTOF) - USE(MOVIT)
IF ( SCHED(MOVIT,OUTOF) .LT. ( MOVAMT + 0.0001 ) )
+ OVRTIM(OUTOF) = OVRTIM(OUTOF) - TIMSET(MOVIT)
SCHED(MOVIT,OUTOF) = SCHED(MOVIT,OUTOF) - MOVAMT
GO TO 9101
9340 CONTINUE
OVRTIM(OUTOF) = OVRTIM(OUTOF) - TIMSET(MOVIT)
+ SCHED(MOVIT,OUTOF) * TIMONE(MOVIT)
MOVAMT = MOVAMT - SCHED(MOVIT,OUTOF)
SCHED(MOVIT,OUTOF) = 0.
GO TO 9320
9400 CONTINUE
C
C
RETURN
END
C CSPCIN.FOR 6/14/85 136 LINES
C*****
C*****
C
SUBROUTINE SPCIN (LASTLB)
C
C ***** START OF DIS-STANDARD COMMON BLOCK *****
C
REAL CINV(36),CPRD(36),CSET(36),COVR,CAP(30),UTIL(30),
+ TIMONE(36),TIMSET(36),DEM(36,30),SCHED(36,30),
+ SPCAP(30),SUBGRD(30),OLDDIR(30),ALPHA,NRNGRD,
+ STPSIZ,UBOBJ,UBINV,UBPRD,UBSET,UBOVR,UBSKD(36,30),
+ UBSPC(30),LB0BJ,LBINV,LBPRD,LBSET,LBSPC(30)
+ INTEGER NITEM,NTIM,ITERAT,LBITER,UBITER,
+ LOUT,PRTO,PRTI,PRTW
COMMON /BILLR/CINV,CPRD,CSET,COVR,CAP,UTIL,TIMONE,TIMSET,
+ DEM,SCHED,SPCAP,SUBGRD,OLDDIR,ALPHA,NRNGRD,
+ STPSIZ,UBOBJ,UBINV,UBPRD,UBSET,UBOVR,
+ UBSD,UBSPC,LB0BJ,LBINV,LBPRD,LBSET,LBSPC
COMMON /BILLI/NITEM,NTIM,ITERAT,LBITER,UBITER,
+ LOUT,PRTO,PRTI,PRTW
C
C ***** END OF DIS-STANDARD COMMON BLOCK *****
C
REAL MAXINV,LASTLB
INTEGER I,ITEM,T,TIMBGN,TIMEND,SETTIM,BGNTIM,ENDTIM
C
C *****
C *
C * Initialize SPCAP for problems without setup time based on
C * utilization of schedule resulting from W's of lot-for-lot
C * requirements. Checks for problem feasibility by calling
C * MOOVR in the process. MOOVR will catch all infeasibilities
C * but may falsely declare some problems with setup time to be
C * infeasible (particularly for very difficult problems).
C *
C *****
C
LASTLB = 0.
C
C (PCVERSION) READ (26,9800) J
C IF ( J .NE. 1 ) GO TO 1000
C READ (26,9900) ( SPCAP(T), T = 1, NTIM )
C9800 FORMAT (15)
C9900 FORMAT (5F15.6)
C GO TO 9000
C1000 CONTINUE
C

```

```

C Set SCHED to MW
C
DO 2200 I = 1, NTIM
  SPCAP(I) = 0.
2200 CONTINUE
C Set SCHED to WW
DO 2600 ITEM = 1, NITEM
  DO 2400 T = 1, NTIM
    SCHED(ITEM,T) = 0.
2400 CONTINUE
    CALL MW ( ITEM )
2600 CONTINUE
C
TSTLB = 1
CALL TSTBST(TSTLB, LASTLB)
TSTLB = 0
C
CALL NOOVR
SETTIM = 0
DO 2800 ITEM = 1, NITEM
  IF ( TIMSET(ITEM) .GT. .001 ) SETTIM = 1
2800 CONTINUE
  IF ( ( UTIL(I) .GE. -1.5 ) .AND. ( SETTIM .EQ. 1 ) ) RETURN
C
NOOVR smoothes SCHED to minimize use of setup time
C NOOVR sets UTIL > CAP if backward smoothing was necessary
C NOOVR sets UTIL = -1 if forward smoothing was necessary
C NOOVR sets UTIL = -2 if problem was infeasible (w/o overtime)
C
TIMEND is the end of the forward smoothing periods =====>
C end of descending staircase of SPCAP
C TIMBGN = TIMEND + 1 is the beginning of periods where backward
C smoothing may have been necessary =====>
C beginning of region of ascending staircase(s) of SPCAP
C
TIMEND = 0
DO 3200 T = 1, NTIM
  IF ( UTIL(T) .GE. 0. ) GO TO 3400
  TIMEND = T
  CONTINUE
3200 CONTINUE
3400 TIMBGN = TIMEND + 1
  IF ( UTIL(1) .GE. -1.5 ) GO TO 7000
C
WRITE(LOUT,6901)
6901 FORMAT(' Problem considered infeasible by SPCIN',//, ' DEM',1)
  IF ( PRTIO .LT. 2 ) CALL OUT
  DO 6902 I = 1, NITEM
    WRITE ( LOU, 6903 ) I, ( DEM(I,T), T = 1, NTIM )
6902 CONTINUE
6903 FORMAT (1X,13,5F15.2,11/,4X,5F15.2 )
  CALL OUT
C
7000 CONTINUE
C
MAXINV = 1.E-29
DO 7200 I = 1, NITEM
  IF ( CINV(I) .GT. MAXINV ) MAXINV = CINV(I)
7200 CONTINUE
C
  IF ( TIMBGN .GE. NTIM ) GO TO 8000
C
C Create ascending staircase patterns of costs
C
BGNTIM = TIMBGN + 1
DO 7400 T = BGNTIM, NTIM

```

179

```

  IF ( UTIL(T) .GT. CAP(T) )
+   SPCAP(T) = SPCAP(T-1) + ( 0.5 * MAXINV )
7400 CONTINUE
  IF ( TIMEND .LT. 1 ) RETURN
C
C Create descending SPCAP staircase(s)
C
8000 CONTINUE
C
DO 8200 T = 1, TIMEND
  SPCAP(T) = SPCAP(1) + ( 0.5 * MAXINV * FLOAT(TIMEND+1-T) )
8200 CONTINUE
C
9000 CONTINUE
  IF ( PRTOUT .LE. 3 ) RETURN
  WRITE (LOUT,9100) ( SPCAP(I), I = 1, NTIM )
  FORMAT ( ' Initial SPCAP',3(/,1X,5F15.2) )
C=====
C
RETURN
END
C LIST FOR 6/14/85 199 LINES
C=====
C
SUBROUTINE TSTBST (TSTLB, LASTLB)
C
C ***** START OF DIS-STANDARD COMMON BLOCK *****
C
  REAL CINV(36), CPRD(36), CSET(36), COVR, CAP(30), UTIL(30),
+   TIMONE(36), TIMSET(36), DEM(36,30), SCHED(36,30),
+   SPCAP(30), SUBGRD(30), OLDDIR(50), ALPHA, WRMGDR,
+   STPSIZ, UB0BJ, UB1NV, UBPRD, UBSET, UBOVR, UBSKD(36,30),
+   UBSPC(30), LB0BJ, LB1NV, LBPRD, LBSET, LBSPC(30)
  INTEGER NITEM, NTIM, ITERAT, LBITER, LBITER,
+   LOU, PRTIO, PRTIT, PRTIW
  COMMON /BILLR/CINV, CPRD, CSET, COVR, CAP, UTIL, TIMONE, TIMSET,
+   DEM, SCHED, SPCAP, SUBGRD, OLDDIR, ALPHA, WRMGDR,
+   STPSIZ, UB0BJ, UB1NV, UBPRD, UBSET, UBOVR,
+   UBSKD, UBSPC, LB0BJ, LB1NV, LBPRD, LBSET, LBSPC
  COMMON /BILLI/NITEM, NTIM, ITERAT, LBITER, LBITER,
+   LOU, PRTIO, PRTIT, PRTIW
C
C ***** END OF DIS-STANDARD COMMON BLOCK *****
C
  INTEGER I, T, IT, TSTLB, BGN, ENDTIM, ITEM, LFL
  REAL TSTINV, TSTSET, TSTPRD, TST0BJ, FIXSP, WASET, WAPRD, WWOBJ
  REAL LASTLB, AVUTIL, TOTCAP, OVRTIM
C=====
C
  LFL = 0
  IF ( ( TSTLB .EQ. -1 ) .AND. ( PRTIO .GE. -3 ) ) LFL = 1
  IF ( TSTLB .EQ. -1 ) TSTLB = 0
C
C Calculate the utilization for the facilities
C
DO 1400 T = 1, NTIM
  UTIL(T) = 0.
  DO 1200 I = 1, NITEM
    IF ( SCHED(I,T) .GT. .00001 )
+   UTIL(T) = UTIL(T) + TIMSET(I) + SCHED(I,T) * TIMONE(I)
1200 CONTINUE
1400 CONTINUE
C

```

C Test for improvement of solution and "bounds"

```

C
  TSTINV = 0.
  TSTPRD = 0.
  TSTSET = 0.
  DO 2600 ITEM = 1, NITEM
    CUMDEM = 0.
    CUMSKD = 0.
    DO 2400 I = 1, NTIM
      IF ( SCHED(I,ITEM,T) .LE. .00001 ) GO TO 2200
      TSTPRD = TSTPRD + CPRD(ITEM) * SCHED(I,ITEM,T)
      TSTSET = TSTSET + CSET(ITEM)
      CUMSKD = CUMSKD + SCHED(I,ITEM,T)
2200    CONTINUE
      CUMDEM = CUMDEM + DEM(I,ITEM,T)
      TSTINV = TSTINV + CINV(ITEM) * ( CUMSKD - CUMDEM )
2400    CONTINUE
2600  CONTINUE
C
  OVRTIM = 0.
  DO 3200 I = 1, NTIM
    IF ( UTIL(I) .GT. (CAP(I)*1.00001) )
    + OVRTIM = OVRTIM + COVR * ( UTIL(I) - CAP(I) )
3200  CONTINUE
C
  TSTOBJ = TSTSET + TSTPRD + TSTINV + OVRTIM
  IF ( ( TSTOBJ .GT. UB OBJ ) .OR. ( OVRTIM .GT. .00001 ) ) GO TO 4000
  UBSET = TSTSET
  UBPRD = TSTPRD
  UBINV = TSTINV
  UBQVR = OVRTIM
  DO 3400 I = 1, NITEM
    DO 3400 T = 1, NTIM
      UBSKD(I,T) = SCHED(I,T)
3400    CONTINUE
    DO 3600 T = 1, NTIM
      UBSPC(T) = SPCAP(T)
3600    CONTINUE
    UBITER = ITERAT
    IF ( TSTOBJ .EQ. UB OBJ ) GO TO 4000
    UB OBJ = TSTOBJ
    IF ( PRIT .GE. -3 ) WRITE (LOUT,9110) UBITER, UB OBJ
C
4000  CONTINUE
C
  IF ( TSTLB .EQ. 0 ) GO TO 6900
C
  WMPRD = 0.
  WASET = 0.
  DO 5400 ITEM = 1, NITEM
    DO 5200 T = 1, NTIM
      IF ( SCHED(I,ITEM,T) .LE. .00001 ) GO TO 5200
      WMPRD = WMPRD + SCHED(I,ITEM,T) *
    + ( CPRD(ITEM) + ( SPCAP(T) * TIMONE(ITEM) ) )
    + WASET = WASET + CSET(ITEM) + ( SPCAP(T) * TIMSET(ITEM) )
5200  CONTINUE
5400  CONTINUE
C
  FIXSP = 0.
  DO 5600 T = 1, NTIM
    FIXSP = FIXSP + SPCAP(T) * CAP(T)
5600  CONTINUE
  WWOBJ = WASET + WMPRD + TSTINV - FIXSP
  LASTLB = WWOBJ
C
  IF ( WWOBJ .LT. LBOBJ ) GO TO 6900

```

180

```

  LBITER = ITERAT
  LBOBJ = WWOBJ
  IF ( PRIT .GE. -2 ) WRITE (LOUT,9120) LBITER, LBOBJ
  LBSET = WASET
  LBPRD = WMPRD
  LBINV = TSTINV
  DO 5800 T = 1, NTIM
    LBSPC(T) = SPCAP(T)
5800  CONTINUE
  GO TO 7000
C
6900  CONTINUE
C
  IF ( ( UBITER .NE. ITERAT ) .OR. ( LBITER .EQ. ITERAT ) ) GO TO 7000
  IF ( PRIT .EQ. -1 ) WRITE (LOUT,9111) ITERAT, LASTLB
C
7000  CONTINUE
C
=====
C
  Iteration output section
  =====
C
  IF ( ( PRIT .LT. 0 ) .AND. ( LFL .EQ. 0 ) ) RETURN
C
  IF ( TSTLB .EQ. 0 ) GO TO 8000
  IF ( PRIT .GE. 4 ) WRITE (LOUT,7960) TSTINV,WMPRD,WASET,FIXSP
  IF ( PRIT .GE. 3 ) WRITE (LOUT,7940) WWOBJ
8000  CONTINUE
  IF ( PRIT .GE. 3 ) WRITE (LOUT,7970) TSTINV,TSTSET,OVRTIM
  IF ( (LFL.EQ.0).OR.(PRIT.GE.3) ) WRITE (LOUT,7990) TSTOBJ
C
  IF ( ( PRIT .LE. 0 ) .AND. ( LFL .EQ. 0 ) ) RETURN
C
  AVUTIL = 0.
  TOTCAP = 0.
  DO 8200 T = 1, NTIM
    AVUTIL = AVUTIL + UTIL(T)
    TOTCAP = TOTCAP + CAP(T)
    UTIL(T) = 100. * UTIL(T) / CAP(T)
8200  CONTINUE
  AVUTIL = 100. * AVUTIL / TOTCAP
  WRITE (LOUT,9100) AVUTIL
  WRITE (LOUT,9300) ( UTIL(T),T=1,NTIM )
C
  IF ( PRIT .LE. 1 ) RETURN
C
  WRITE (LOUT,9400)
  WRITE (LOUT,9500) ( SPCAP(T),T=1,NTIM )
C
  IF ( PRIT .LE. 7 ) GO TO 8400
  WRITE (LOUT,9401)
  WRITE (LOUT,9501) ( SUBGRD(T),T=1,NTIM )
8400  CONTINUE
C
  IF ( PRIT .LE. 3 ) RETURN
C
  WRITE (LOUT,9800)
  DO 8900 I = 1, NTIM
    WRITE (LOUT,9900) I, ( SCHED(I,T),T=1,NTIM )
8900  CONTINUE
C
=====
C
7940  FORMAT ( ' LOWER BOUND COST      = ',F17.6,/)
7960  FORMAT ( /, ' Cost of inventory    = ',F17.6,/)

```



```

C
      IF ( DEK(ITEM,I) .GT. .00001 ) .OK.
      *
      PRINT (PRINT*1) ,GT, PRINT(1) ) GO TO 7000
      DO WHILE I1 * DOTW2 .NTM
      SCHEDULE(1,I1) = SCHEDULE(1,I1)
      CONTINUE
      SCHEDULE(1,I) = 0
7000  CONTINUE
C
C Return W-V schedule
      INV = 0.
      DO B300 I1 = 1, NITM
      I = NITM + 1 - I1
      IF ( SCHEDULE(1,I) .EQ. 0 ) GO TO 8100
      SCHEDULE(1,I1) = INV + DEK(ITEM,I)
      INV = 0.
      GO TO 8200
8100  SCHEDULE(ITEM,I) = 0.
      INV = INV + DEK(ITEM,I)
8200  CONTINUE
8300  CONTINUE
C
      IF ( PRINTW .GE. 4 ) WRITE (LOUT,995) (SCHEDULE(ITEM,I),I=1,NITM)
C=====
990  FORMAT (/, ' Running Header-Writein for Item # ',I4)
991  FORMAT (/, ' setup cost :', /,6I08B.1,/) )
992  FORMAT (/, ' production cost :', /,6I08B.1,/) )
993  FORMAT (/, ' inventory cost = ', /,8.2)
994  FORMAT (/, ' requirements :', /,6I08B.0,/) )
995  FORMAT (/, ' schedule :', /,6I08B.0,/) )
C
      RETURN
      END

```

CAPITULO 20: ANALISIS CRITICO DE LA TEORIA DE RESTRICCIONES

A finales de 1989 y principios de 1990, se iniciaron en México una serie de seminarios con la finalidad de promover la Teoría de Restricciones, además de que aparecieron también la traducción al español de dos libros, uno detrás de otro, que apoyan esta filosofía cuyos títulos fueron "La Carrera" y "La Meta", a la fecha, por ejemplo, "La Meta" lleva publicados 800,000 ejemplares a varios idiomas siendo este dato por sí mismo un testimonio del éxito de esta filosofía de producción. Su iniciador es un físico que se llama Eliyahu Goldratt, autor además de los dos libros, y este físico se acredita la implementación exitosa de su filosofía en muchas empresas donde muchos de los casos se escriben en una revista especializada sobre el tema: The Theory of Constraints Journal.

Es importante mencionar esta filosofía que tiene mucho que ver con los sistemas modernos de manufactura por muchos, muchos motivos: su aparente éxito por una parte y por otra la total o gran ignorancia que hay sobre esta teoría de restricciones; por ejemplo, se ha dicho que es mejor que JIT, y no cabe duda que quien hace este tipo de afirmaciones (lo he comprobado yo personalmente por quien las hace) en

realidad afirma dos cosas: que ni sabe JIT ni sabe TOC (Teoría de Restricciones por sus siglas en inglés), es por esto que he decidido dar una breve explicación, estableciendo las similitudes y diferencias, así como las ventajas y desventajas con respecto a JIT.

En primer lugar, TOC reconoce el ambiente aleatorio existente dentro de la planta: operaciones aleatorias, procesos dependientes de otros, etc.⁴⁴.

Lo que hace MRP, normalmente, para enfrentar este tipo de fluctuaciones que responden desde luego a muchos imprevistos, que son asuntos de ordinaria administración, es tener una buena inversión en inventarios en cada centro de trabajo (aunque no necesariamente es así, sí lo favorece). Lo que hace JIT, como ya se ha visto ampliamente, es eliminar estos problemas buscando la causa raíz y corregirla, por ejemplo, las descomposturas de las máquinas se corrigen mediante programas de mantenimiento preventivo.

Tanto los que aplican JIT y MRP se basan en la suposición de que la planta ideal es aquella que se encuentra balanceada, esto es, aquella en la que cada recurso tiene la misma capacidad de producción relativa a la necesidad de la planta. El enfoque de TOC es el de aceptar la existencia de una planta no balanceada, esto es, aquella en el que algún recurso tiene menos capacidad de producción

⁴⁴Fogarty, Blackstone, Hoffman, op. cit., pág. 648.

que otros. El recurso más limitado se le llama restricción. TOC protege mediante inventario solamente la restricción. Las estaciones que no son restricciones tienen una protección por medio de ese exceso de capacidad. Añadir inventario a una estación que no es restricción provoca el incremento del tiempo de entrega (un costo) y que se incrementa por lo tanto el inventario en proceso (un costo) sin proporcionar ningún beneficio tangible. TOC coincide con JIT en que el inventario es un desperdicio, si es que el inventario está planeado en una estación que no es ninguna restricción. Sin embargo, dando inventario a la restricción para que no provoque problemas en otras estaciones, de tal forma que se asegura que la restricción no interrumpa el trabajo en otros lados añade valor y por lo tanto no es ningún desperdicio.

TOC no trata de eliminar todos los problemas, sólo aquellos que amenazan la restricción a pesar de la existencia del inventario de protección de la restricción. Usando la misma terminología de JIT, un esfuerzo excesivo en la eliminación del problema es un desperdicio. Debe llegarse a un punto en el que es mucho menos caro proporcionar un poco de inventario contra un problema en la restricción que eliminar el problema. El inventario de la restricción también le da libertad a la administración de resolver

problemas contra lo que la falta de inventarios podría dar⁴⁵.

Con respecto a las afirmaciones posteriores, y no cabe duda de que mi posición hace una apología de JIT, afirmo lo siguiente:

En primer lugar, aunque idealmente el ingeniero de producción espera tener o encontrarse con una planta balanceada, ya sabe que la realidad no va a ser así. Normalmente el ingeniero de producción tiene dos caminos, los cuales tienen dos impactos, contablemente hablando: el primero es, efectivamente, el de protegerse con inventarios, no tiene caso hablar de los pros y contras de los inventarios porque ya se ha escrito sobre esto con abundancia en la primera parte; en nuestro caso, mencionaremos solamente el aspecto contable: el inventario, por más pequeño que sea, resta liquidez a las empresas y además, (hasta este momento estamos considerando una situación estática, esto es, la restricción es la misma independientemente de la situación) tiene un costo administrativo, del cual nunca se habla, pero que no deja de existir (también de esto ya se ha hablado mucho). En segundo lugar, TOC dice que el inventario de protección se establece sólo en donde están localizadas las restricciones, esto es muy fácil de decir, pero si la gente dentro de la planta

⁴⁵Cfr. Ibid., pp. 648 y 649.

supiera dónde están las restricciones, obviamente que allí serían los lugares donde se pusieran los inventarios, YA SE HA DICHO QUE EL PROBLEMA QUE SE TIENE EN LAS EMPRESAS ES QUE NO SE SABE DONDE SE ENCUENTRAN LOS MISMOS, el mejor mecanismo que tiene JIT al respecto es precisamente la disminución del inventario, porque en donde se reduzca el inventario que forma parte de una restricción, allí es en donde va a aparecer la gran roca, es en este punto en donde roca y restricción se identifican.

Por otro lado, y ya se acaba de mencionar en un paréntesis, la situación es totalmente dinámica, la demanda a final de cuentas es la que determina la existencia o la localización de las restricciones. Voy a explicarlo con una línea que en principio es desbalanceada:

Supongamos que tenemos una línea de ensamble con tres estaciones de ensamble, totalmente desbalanceada, con esto queremos decir que las tres estaciones tienen una velocidad máxima de ensamble diferente: la primera ensamble 10 piezas por hora, la segunda 15 pzs/hr y la tercera 20 pzs/hr. Si se sigue que se produce en forma nivelada y la demanda en un momento dado es de 10 piezas por hora, NO HAY RESTRICCIONES EN EL SISTEMA, aunque en forma aparente hemos llegado al límite de la capacidad de producción de esa línea de ensamble. Si la demanda aumenta a 15 piezas por hora, el sistema seguirá limitado a la producción de 10 piezas por

hora, por lo tanto, hemos localizado una restricción, por lo que la estación 2 debe tener inventario de protección para poder estar funcionando continuamente. Hasta este momento no se había hablado del segundo camino en las alternativas posibles para resolver este tipo de problemas y es el de aumentar la capacidad, ya sea añadiendo una persona más que auxilie en la estación para aumentar la capacidad de la máquina que produce las 10 pzas/hr (y esto sabemos muy bien que no repugna a la filosofía de JIT porque es posible teniendo a los trabajadores capacitados para realizar funciones múltiples) o, si esto no es posible, AÑADIENDO ACTIVO FIJO EN LUGAR DE ACTIVO CIRCULANTE, como por ejemplo, comprando una máquina adicional con un mínimo de capacidad productiva de 5 piezas por hora, de esta forma, se hace innecesario el inventario, aunque el costo no se ha evitado ya que hemos extendido la capacidad de la empresa a un cierto costo. Ahora bien, decir fácilmente que hay que comprar una máquina adicional es demasiado teórico, pero hay que analizar otros dos aspectos que pueden justificar la compra (y una vez más, la respuesta va a estar en función de la demanda): si el comportamiento de la demanda va a ser el mismo el resto del tiempo, esto es, va a seguir siendo 15 pzs/hr, CONVIENE comprar el equipo adicional ya que no se puede producir más de lo que la capacidad disponible dicta (estamos suponiendo el caso extremo de que se trabajan los 3

turnos, es decir, no hay posibilidad de que la primera estación pueda trabajar turnos adicionales para compensar el desbalance), si la demanda, en promedio, va a ser igual a 10 pzs/hr (este aumento a 15 por lo tanto es esporádico y ya está contemplado dentro del programa de producción porque va a haber otros momentos en que la demanda será menor de 10 compensando los excesos con las faltas) no tiene caso usar inventario de protección, ya que el retraso de la producción va a ser corto y en el mediano o corto plazo, de nuevo se van a igualar las situaciones. El caso más interesante, dentro de esta situación, es el siguiente: las tres estaciones trabajan sólo un turno. Este caso es interesante ya que puede permitir una situación altamente dinámica, por lo que las restricciones son dinámicas (en función de la demanda, en un momento dado, cualquiera de las tres estaciones se puede convertir en restricción, pero conforme aumenta el grado de dificultad de la restricción, la restricción va aumentando su dimensión, ya que si la demanda aumenta a 15 piezas, tenemos una sola estación que es restricción, pero si la demanda aumenta a 20 piezas, no sólo cambia la restricción, más bien aumenta numéricamente: la máquina que produce 10 pzs/hr sigue siendo restricción y la que produce 15 pzs/hr se aumenta a la nueva restricción, aumentando el inventario de protección en el sistema. Si agrandamos el problema, por ejemplo, suponiendo que la

demanda aumenta a 30 piezas por hora, ya no tenemos 3 estaciones que son una nueva restricción, sino TODO UN CENTRO DE TRABAJO, en este caso, la línea de ensamble final. PERO ESTO YA SE HACE A NIVEL DE PLANEACION EN MRP Y EN JIT, ya que al planear la producción, en MRP, se identifican los cuellos de botella potenciales (restricciones con un nombre menos onomatopéyico) y la mayor parte del esfuerzo se dirige a controlarlos, por ejemplo, con tarjetas de entradas y salidas de producción en esos puntos en el cual se monitorea en base a las variables que la administración puede controlar más como son por ejemplo la aceptación de las entradas de las órdenes; y en JIT se controla manteniendo la velocidad de producción, pero durante más tiempo (trabajando un medio turno más, por ejemplo, este aumento del costo no es muy significativo, tomando en cuenta el porcentaje del costo en el producto que tiene la mano de obra. A final de cuentas, nos enfrentamos con un problema más bien de planeación: si la demanda aumenta y no se puede hacer nada por satisfacer la demanda y la única alternativa es tener inventario de protección, es que hubo un error en el pronóstico y/o seguimiento de la demanda.

Además, JIT reconoce que "hay un momento en el que es mucho menos caro proporcionar un poco de inventario contra un problema en la restricción, que eliminar el problema", ¿de qué forma lo hace? con las tarjetas de kanban. Kanban,

además de ser un sistema que "jala" la demanda, en sí mismo es ese "pequeño inventario", de hecho, la efectividad de un sistema se mide por el número de kanbans existentes, ya que si se retira una tarjeta y no se puede resolver el problema que descubre, debe de volverse a meter la misma tarjeta restableciendo el inventario original, pero esto ya trajo como beneficio en sí, que se localizó el problema, y aunque no se pudo solucionar con la velocidad adecuada antes de transtornar el sistema de producción total, ya ha dado la dirección y el cauce hacia dónde deben dirigirse los nuevos esfuerzos por parte del personal: a resolver el nuevo problema que se acaba de identificar.

Se hizo una simulación⁴⁶ de los 3 enfoques: MRP, JIT y TOC. El enfoque de MRP dio como resultado de que no alcanzó la producción deseada y además tuvo un efecto lateral indeseable: Si se evalúan las implicaciones de la variación en el inventario terminado para administrar los tiempos de entrega y producir una orden específica para una fecha determinada de entrega, se podrá entender por qué muchos administradores occidentales creen que el taller los está controlando a ellos en lugar de ser esta situación a la inversa. El enfoque de JIT redujo por mucho la variabilidad de la producción de la línea. El tiempo de entrega fue muy bajo (un día o menos). Desafortunadamente JIT alcanzó un

⁴⁶Cfr. Fogarty, et. al. op. cit. pág. 649.

promedio de producción más pequeño que el enfoque de MRP, pero independientemente del costo alto de reducir la variabilidad, cuando se considera qué tan predecible puede ser el sistema, el enfoque JIT es claramente superior al enfoque anterior. Con respecto a TOC, mejoró los resultados obtenidos por JIT en aproximadamente 2% y requirió menos esfuerzo. Los resultados obtenidos con TOC se vieron en esta simulación superiores a los alcanzados por JIT, además, tiene menos inventario en proceso que JIT.

Los principios de TOC son los siguientes:

1. Balancee el flujo, no la capacidad.
2. El nivel de utilización de una facilidad que no es cuello de botella se determina no por su propio potencial, sino por alguna otra restricción del sistema.
3. La utilización y la activación de un recurso no son sinónimos.
4. Una hora perdida en un cuello de botella es una hora perdida para siempre.
5. Una hora ahorrada en un cuello de botella es un milagro.
6. Los cuellos de botella gobiernan el tráfico y el inventario en el sistema.
7. Los planes de producción deben establecerse tomando en cuenta todas las restricciones simultáneamente. Los

tiempos de entrega son el resultado de un plan y no se puede predeterminar.

Hasta este momento, suena muy lógico que implementar un sistema basado en OPT sea lo mejor, pero no cabe duda de que el mejor sinodal es siempre un sistema real y no una simulación con un número mínimo de estaciones y con pocas complicaciones, así que el siguiente punto es considerar los aspectos de implementación de TOC.

El nombre que tenía anteriormente TOC era el de OPT (Optimized Production Technology) de lo cual la evolución llevada al presente es como lo conocemos ahora por TOC. Con el fin de separar conceptualmente los términos, TOC representa ahora la filosofía y OPT el programa computacional que sirve para apoyar el sistema productivo. Dentro de TOC, la meta es siempre romper una restricción o una condición de cuello de botella y a partir de allí identificar la siguiente restricción. PERO OPT presenta muchas dificultades en su implementación. El primer aspecto que hay que observar es que OPT no es para el iniciado. Las compañías necesitan conocer lo que son conceptos como el de programación finita, necesitan educar a la gente, apoyo de la alta administración, y una gran voluntad de desaprender algunos malos hábitos. "Sabemos de una compañía que ha estado trabajando varios años para implementar OPT, sin ningún éxito, debido a que tiene presiones muy grandes de

utilizar totalmente la mano de obra directa. Los principios de contabilidad de costos en OPT tampoco han sido aceptados.

Otro aspecto que no se acepta es que los algoritmos que apoyan la filosofía y que se contienen dentro del programa computacional que genera los planes de producción son un secreto. Una filosofía básica de un sistema moderno de manufactura debe sostener como principio la TRANSPARENCIA DE SISTEMAS, esto es, que los planes de producción y los procedimientos que se obtengan puedan ser comprendidos por los usuarios, y sucede que OPT es cualquier cosa menos transparente: es difícil de entender, y es aún más difícil de entender por qué se han producido algunos planes de producción. Muchos resultados de OPT van en contra del sentido común o por lo menos contra la intuición, en pocas palabras, es muy difícil ver por qué son como son.

A la hora de hacer la implementación, se dan dificultades cuando la base de los planes de producción no están claras para la gente del piso encargada de su ejecución. Este es un problema que se agrava cuando el desempeño de la gente del piso no está relacionada directamente con la ejecución del plan. Estos problemas los dijeron miembros de un grupo de usuarios de OPT que hablaron acerca del tiempo requerido con el fin de obtener una adhesión al plan entre los supervisores de producción. Otro problema de OPT son las suposiciones de certidumbre

utilizadas en el procesamiento. Con la base de que los datos fueran incorrectos en cuanto a capacidades, requerimientos de tiempo por lotes, etc., el sistema va a producir resultados imperfectos. Además, según el algoritmo, a veces es conveniente dividir la producción de un lote cuando no se incurre en costos extras (se aprovecha capacidad ociosa) pero esta parte del algoritmo es miope, porque no considera el impacto de los dos lotes en el largo plazo en los siguientes procesos productivos.

Como puede verse, una vez más, no basta demostrar cuantitativamente la excelencia de una técnica, esta, per se no va a lograr mejores resultados (aunque en papel, como en este caso el resultado de la simulación dejó a TOC como la mejor opción), además, personalmente descalifico TOC en su fase de implementación (OPT), debido a que es reduccionista, se han resaltado mucho los esfuerzos numéricos pero en cambio nada se ha dicho acerca de los otros factores que afectan al trabajo: los factores que se encuentran alrededor del ser humano. No basta producir más, a costa del precio invisible que se ha de pagar, en este caso la dignidad de la persona. Aún es muy pronto para saber el éxito de esta técnica, los resultados son relativamente pocos y por supuesto, no hay literatura existente sobre los fracasos, así que si hay alguien que no esté de acuerdo acerca de lo que afirmo acerca de TOC (respaldado la mayor parte por la

experiencia de otros practicantes y la mía propia) dejemos que el tiempo sea el mejor juez.

CAPITULO 21: INDICADORES CLAVE DE LOS SISTEMAS MODERNOS DE MANUFACTURA

La implementación de los sistemas modernos de manufactura, van a crear cambios importantes en los negocios, los cuales no van a estar reflejados en forma precisa por el sistema actual de indicadores. Esto es muy significativo, ya que se trabaja en la medida en que se le mide a uno. Los indicadores son las normas o criterios que nos dicen cómo se ha trabajado y nos motivan para trabajar de una forma mejor. Si dan señales equivocadas, la alta administración no deseará implementar un sistema moderno de manufactura. El problema es que algunos de los indicadores que aún se utilizan hoy en día, podrían hacer ver a un sistema moderno como si diera peores resultados que los que se tenían antes de la implementación.

La mayor parte de los indicadores de desempeño se originaron a partir de información de contabilidad de costos, sus premisas fundamentales datan de hace más de medio siglo. Para empeorar las cosas, ha habido una tendencia creciente a través de los años de hacer que lo que originariamente se intentaba que fueran indicadores internos, fueran consistentes con convenciones y regulaciones externas. Como resultado, se le ha proporcionado con mucha frecuencia a la gerencia de

operaciones información inútil y confusa sobre los indicadores de desempeño así como de los datos de costos.

Conforme hay más y más compañías que adoptan en el mundo un sistema de producción más moderno, se han ido dando cuenta en forma creciente de los inconvenientes de los indicadores antiguos tanto para la gerencia operativa como para sus organizaciones financieras. Así como existen barreras de prácticas tradicionales en el taller, hay mentalidades tradicionales en la comunidad integrada por los contadores que tendrán que ser superadas, pero ya que los indicadores tradicionales de contabilidad de costos no reflejan las condiciones nuevas, deberán desarrollarse indicadores nuevos. El objetivo de este capítulo es el de tratar sobre algunos indicadores que sean compatibles con los sistemas modernos de manufactura, y que den indicadores de desempeño válidos.

Los libros de texto nos dicen que la Contabilidad Financiera trata principalmente de "los aspectos históricos, internos y administrativos de los informes externos". La Contabilidad de Costos, por otro lado, se supone que trata sobre "la recopilación, hace un análisis objetivo y una interpretación racional de la información relevante para ayudar a la dirección a ejercitar un juicio considerado para la planeación y el control del negocio". La contabilidad de costos también realiza la función de costear los productos

para efectos de valuación de inventarios y la determinación de los ingresos. Desafortunadamente, la segunda responsabilidad se ha convertido en el conductor o factor principal de la contabilidad de costos debido a la necesidad creciente de reportar información en forma estandarizada de los inventarios y de los costos a entidades externas, como serían la Secretaría de Hacienda o la Bolsa de Valores.

Con el fin de evitar el tener que llevar dos libros, la contabilidad de costos proporciona en forma normal a la gerencia de operaciones combinaciones de datos estándares para la medición y el control del desempeño. El problema con esos datos, es que no están actualizados, a menudo descansan en suposiciones que no son relevantes y aunque pueden ser útiles para efectos fiscales, puede que no tengan ninguna relación con los indicadores de los costos o de las operaciones. En verdad, los números generados actualmente proporcionan una guía muy poco útil para una buena toma de decisiones gerenciales y peor aún, pueden llevar a la dirección a que tomen decisiones equivocadas.

Para ilustrar la validez de lo que se acaba de decir, consideraremos el siguiente ejemplo que se publicó en Harvard Business Review titulado "Yesterday's Accounting Undermines Production" (su autor es Robert Kaplan, y se publicó en Julio-Agosto de 1984).

"Durante la gestión de dos años de Richard Thompson, como director de la División de Productos Industriales de la Compañía ACME, la división tuvo tan grandes utilidades que fue promovido a una responsabilidad de más alto nivel. El sustituto de Thompson, sin embargo, encontró que la división había sufrido una erosión muy grande en su capacidad de fabricación y por lo tanto era inevitable que las utilidades se fueran a pique. Un análisis cuidadoso de las operaciones realizadas durante la administración de Thompson reveló lo siguiente:

1) El incremento de las utilidades se debía en su mayor parte a un incremento súbito de la demanda que permitió que los recursos de la división operaran a cerca de su capacidad.

2) A pesar de esta expansión, la participación en el mercado de la división había disminuido.

3) Los costos se habían reducido gracias a que se había dejado de dar mantenimiento el equipo, se le había operado más allá de su capacidad y no se habían hecho inversiones en equipos nuevos o en desarrollo de nuevos productos, y además, se había impuesto un ritmo de trabajo muy estresante a los trabajadores al punto de estarlos alienando.

4) Muchos costos habían sido absorbidos dentro de inventarios inmensos.

Durante esta época, sin embargo, Thompson estaba seguro en su puesto nuevo y aún se le reconocía por la utilidades tan altas que había conseguido durante su gestión".

¿Dónde estaban los indicadores de desempeño que debían de haber alertado a la administración de la Corporación ACME acerca de estos problemas? ¿Thompson fue llevado a tomar decisiones equivocadas de tal forma que se "viera bien" por una norma o criterio equivocada? Si así fue, ¿qué debería de haberse hecho?.

Cambios en la fabricación

Necesitamos comenzar reconociendo que la fabricación hoy en día ya está sufriendo cambios considerables aún sin implementar los sistemas modernos de manufactura. En la medida en que las compañías se mueven hacia la automatización y hacia un sistema CIM, las bases cambian de la misma forma. Nuestros conceptos de contabilidad de costos se desarrollaron a principios de este siglo cuando había poca tecnología, la producción era muy estable, y la mano de obra directa representaba la mitad del valor agregado en el proceso de fabricación. En aquel entonces, era lógico concentrarse en indicadores como la eficiencia de la mano de obra directa y la utilización de la maquinaria como

indicadores de utilidades futuras. Actualmente, ya no se pueden aplicar esas premisas. En la medida en que las compañías se han ido automatizando, la relación entre la mano de obra directa y los costos administrativos han cambiado de una relación de 1:1 a una relación de 1:3 y se proyecta que esta relación sea de 1:4 hacia el año 2000. En algunas compañías la relación ya es de 1:12. Además, los costos administrativos han aumentado debido a los costos adicionales de apoyo asociados con el arranque y el mantenimiento de equipo automatizado altamente sofisticado y el número inmenso de transacciones que se deben registrar para mantener un adecuado seguimiento de las actividades complejas de los sistemas de manufactura.

Cambios producidos por JIT

En el caso de JIT, por ejemplo, esta tendencia se acentúa. En primer lugar porque hace hincapié en la simplificación y la racionalización de los procesos productivos, lo que lleva a menores requerimientos de mano de obra directa. En segundo lugar, debido a los esfuerzos para maximizar la autosuficiencia del trabajador, ya que muchas funciones indirectas tradicionales como el manejo de materiales, la inspección, el mantenimiento de las máquinas, programación y secuenciación de trabajos, etc. son por lo menos transferidas parcialmente a responsabilidades de los operarios. En tercer lugar, debido a que los principios de

JIT reclaman una reducción de los inventarios con el fin de exponer y arreglar los problemas, con esto resultan rotaciones altas que compensan las necesidades tradicionales de procedimientos de contabilidad de inventarios complejos.

En la incansable búsqueda por el mejoramiento continuo de la calidad y de la productividad, JIT cambia también otras prácticas tradicionales de manufactura. Nos descubrimos a nosotros mismos de que cambiamos del punto de vista de "lo grande es mejor" a "lo pequeño es hermoso", de que el inventario es un activo a que es un pasivo que sirve para ocultar problemas, de trabajadores limitados y con alcance limitado a trabajadores flexibles de "háganlo ustedes mismos", de rechazos inevitables a hacerlo bien la primera vez, de una gran inercia y reacción lenta en la manufactura a una respuesta rápida a la demanda exacta del cliente y de las contingencias a la eliminación de todo el desperdicio.

Los indicadores del desempeño necesitan reflejar y promover estas tendencias. Este es un juego de pelota nuevo que requiere una visión nueva de los indicadores y el reemplazo de algunos de ellos.

Los pros y los contras del ROI

El indicador macro más popular usado hoy en día es el Retorno de la Inversión (ROI por sus siglas en inglés). Desarrollado en Du Pont antes de 1919, es un indicador

ingenioso que relaciona la utilidad y del estado de resultados con la hoja del balance general en un solo número. La manera en que se obtiene ese número es como sigue:

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Material} & & \\
 + & & \\
 \text{Mano de Obra} & = & \text{Costo de Ventas} \\
 + & & \text{de Fabricación} \quad \text{Ventas} \\
 \text{Gastos Generales} & & + \quad - \\
 & & \text{Gastos de Ventas} = \text{Costo} = \\
 \text{Utilidades} & & + \quad \text{de Ventas} / \\
 & & \text{Gastos de Adminis-} \quad \text{Ventas} \\
 & & \text{tración} \\
 & & \text{Inventarios} \\
 & & + \\
 & & \text{Cuentas} \\
 & & \text{por Cobrar} = \text{Capital} \quad \text{Ventas} \\
 & & + \quad \text{de} \quad / \\
 & & \text{Efectivo} \quad \text{Trabajo} = \text{Inversión} \\
 \text{Total} & & \\
 & & + \\
 & & \text{Inversión} \\
 & & \text{Permanente}
 \end{array}$$

Utilidades/Ventas (cont.) = % de Utilidades Sobre Ventas
 Ventas/Inversión Total (cont.) = Retorno de la Inversión

% de Utilidades Sobre Ventas X Retorno de la Inv. = ROI

Como puede desprenderse de la gráfica, una parte de la fórmula calcula las utilidades como un porcentaje de las ventas mientras que la otra parte calcula el retorno de la inversión relacionado con las ventas. Cuando los dos factores se multiplican, el resultado es el retorno sobre la inversión, expresado como una relación. Debido a que las ventas se cancelan una con otra en el cálculo final, también

puede calcularse el ROI como las utilidades divididas por la inversión total. ROI es un indicador muy accesible acerca de qué tan efectivamente un cierto negocio está proporcionando a los inversionistas el retorno sobre su inversión, que es acerca de lo que tratan cualquier libre empresa. Puede compararse con el interés que podría recibirse de un banco por la misma inversión. Como puede verse a partir de los elementos del diagrama del ROI, es más aplicable a unidades de negocios que están contenidas dentro de centros de costos.

ROI como un Indicador del Desempeño

El propósito original del ROI en Du Pont era el de ayudar a determinar dónde invertir mejor el capital entre distintas opciones de la compañía. Más tarde, ROI se utilizó como un indicador del desempeño para el Gerente General en cada unidad del negocio. En este caso, sin embargo, se modificó ligeramente para cargarle al gerente general la inversión bruta operativa y las utilidades netas de la depreciación (utilidades líquidas). En sus palabras, "sería inapropiado considerar que la gerencia operativa fuera responsable por ganar un retorno sobre solamente la inversión neta operativa. El capital, el pasivo y las posiciones de reserva de una empresa son por mucho un reflejo de la filosofía de la alta administración de cómo debe financiarse un negocio. La Compañía Du Pont cree que la

gerencia operativa debe ser responsable de convertir en utilidad el capital asignado a esa administración independientemente de cómo se consiguió ese capital.

Debe observarse que el tono y el contexto de las afirmaciones anteriores tienen un énfasis a largo plazo. Las inversiones de capital no se hacen para el corto plazo. Y, no obstante, ROI se ha convertido en un indicador de corto plazo por muchas compañías hoy en día. Viven o mueren mensualmente por culpa del ROI. Algunas inclusive tratan de utilizar el ROI para medir centros de costos mediante la asignación de ventas y capital a ellos. Aquí es donde otro indicador efectivo se rompe debido a que a este nivel de detalle es impreciso, irrelevante y demasiado fácil de batir.

Combatiendo el ROI en el Corto Plazo

Supongamos que estamos llevando a cabo una cierta operación productiva que tuvo un presupuesto anual de un millón de mano de obra directa y cuatro millones de costos generales. Con el fin de hacer la contabilidad de costos más sencilla, estos dos números están enlazados en una relación que dice "cada vez que un nuevo peso de mano de obra directa se gasta, se le asignarán cuatro nuevos pesos de gastos generales". Esto se traduce en una tasa de gastos generales de 400%. Si todo va de acuerdo al plan, el gasto de un millón de nuevos pesos por mano de obra directa, al final

del año "absorberá" los cuatro millones de gastos generales. Esa es la meta a largo plazo.

En el corto plazo, sin embargo, digamos que se necesita una cierta utilidad extra este mes para hacer ver al ROI bien. Trabajando un sábado, se podrían gastar más horas de mano de obra directa que las que se planearon originalmente y por lo tanto absorberían más gastos generales dentro de los inventarios que los que se planearon. Ya que el sistema tiene que suponer que el trabajo era necesario, la cantidad estándar de mano de obra directa y de gastos generales se habría cargado a la cuenta de inventarios. El premio por tiempo extra sería una variación poco favorable para la fabricación, se compensaría por la absorción de gastos generales extras, la mayor parte del cual sería un dinero no desembolsable, ya que sería muy difícil que cambiaran los gastos generales. La diferencia entre gastos generales absorbidos y los gastos generales reales podrían mostrar una varianza favorable en manufactura, que fluirían rápidamente hacia abajo. En forma inmediata se tendrían "utilidades" instantáneas.

Esa es precisamente una de las cosas que hizo Richard Thompson en ACME, ¡pero está tan equivocado!. Hacer que la gente produzca en tiempo extra cosas que no se necesitan y consumir material que se adquirió para ser utilizado en otra cosa es el más grande de todos los desperdicios. Pero

ciertamente mejorará el Retorno Sobre las Ventas y el ROI. No obstante todo mundo sabe que está "mal", lo siguen haciendo, ya que lo hacen llevados por un sistema de medición que se enfoca en el AHORA. Todo lo que se haga para que el AHORA se vea mejor, es equivalente al fin del futuro.

Influencias negativas sobre el ROI

Usar un indicador de largo plazo para monitorear el desempeño a corto plazo es sólo una parte del problema. Existen muchas otras distorsiones originadas por otras fuerzas. En su libro "Relevance Lost: The Rise and Fall of Management Accounting", Kaplan y Johnson describen seis de ellas:

1. Las presiones por los resultados del corto plazo que vienen de la alta administración y de los inversionistas externos no motivan, sino todo lo contrario, las inversiones a largo plazo por los gerentes de las compañías.

2. Las promociones más rápidas de hoy en día desalientan también las inversiones, ya que sólo le abren el camino a los exitosos.

3. Las organizaciones más grandes y más descentralizadas de hoy, proporcionan más oportunidades de tomar acciones "disfuncionales" que pueden tomarse sin darse a conocer.

4. Muy pocos gerentes entienden realmente los productos y los procesos de las compañías en las que trabajan, terminando por tomar decisiones "sólo por los números".

5. Los bonos que se dan a los ejecutivos estan basados principalmente en números contables de corto plazo.

6. El ambiente manufacturero ha cambiado tan dramáticamente que no es razonable tener indicadores que ya tienen más de 60 años usándose.

Es por lo tanto, la combinación de un indicador de largo plazo con una mentalidad de corto plazo, combinada con la incapacidad de la administración o con la renuencia a leer "entre líneas" lo que ha degradado la efectividad del ROI como un indicador clave del desempeño. Para que por ejemplo JIT tome su lugar, se debe suplementar al ROI con indicadores válidos del corto plazo que motivarán a los gerentes a hacer las cosas correctas.

Indicadores de desempeño de JIT

La clave para un indicador efectivo de JIT está inherente a su definición fundamental "JIT es una estrategia de producción con un conjunto nuevo de valores para mejorar continuamente la calidad y la productividad". En forma particular, los indicadores deberán reflejar:

1. El valor del tiempo
2. Los valores nuevos de JIT
3. Un énfasis por el mejoramiento continuo
4. Una mentalidad nueva sobre la calidad
5. Productividad total de la gente

Ningún indicador en forma aislada podrá cubrir efectivamente todas estas bases, de tal forma que se es necesaria una serie de ellos.

JIT es la encarnación del dicho "el tiempo es dinero". Ha habido mucho énfasis acerca del valor del tiempo en la primera parte por medio de la reducción de elementos de tiempo como el tiempo de respuesta al cliente, el tiempo de entrega en la fabricación, tiempo de retroalimentación del control de los procesos, tiempo de preparaciones, tiempo de entrega de las reórdenes de los proveedores y el tiempo de transporte. Con pocas excepciones, el sistema de medición deberá recompensar las cosas que se hagan más rápido y penalizar las cosas que tomen más tiempo en realizarse.

La metodología de JIT involucra valores nuevos. Se centra en la eliminación del desperdicio, especialmente en términos de actividades que no añaden ningún valor y en las inversiones innecesarias. En lugar de ser una filosofía de equilibrio (¿hasta qué grado puedo justificar esta inversión?) es una reducción incansable del desperdicio (¿cómo puedo eliminar este desperdicio?). Eliminando las contingencias y llevando los tamaños de los lotes de producción al nivel mínimo posible (idealmente uno), es vital para poder reducir el tiempo de respuesta. Los indicadores deben promover estos enfoques y desalentar las relaciones que fomentan las inversiones de contingencia.

Un principio fundamental que hemos visto de JIT, y pertenece en general a cualquier sistema productivo de manufactura moderno, es el mejoramiento continuo hasta lograr la perfección. Los indicadores deberán tener que ver con el desempeño relativo a través del tiempo para una operación dada que con los números absolutos por sí mismos. Además, cada operación es diferente, así, que tratar de usar datos sobre el desempeño que sean significativos a nivel local para comparar un negocio con otro podría ser como tratar de comparar peras con manzanas. Por ejemplo, una fábrica que produce un producto altamente tecnificado mediante ensamble va a producir números significativamente diferentes a una facilidad con una inversión intensiva en capital. Si se desean comparar operaciones para efectos de inversiones relativas, utilícese el ROI. Si se desea saber si JIT trabaja adecuadamente en el corto plazo véanse los indicadores de desempeño para cada facilidad por separado y monitorea la velocidad del mejoramiento a través del tiempo. Eventualmente, también irán para arriba en los números del ROI.

Enfasis en Calidad y Productividad

El objetivo de JIT con respecto a la calidad es la perfección. Este reclamo está muy lejos de los resultados actuales y requiere una nueva mentalidad con respecto a la calidad. Los indicadores de desempeño de la calidad

necesitan reflejar esta meta, tanto como una recordatorio del objetivo y como un método que sirva para reorientar el pensamiento de la fuerza de trabajo hacia su viabilidad, además, los mejoramientos de la calidad no deberán ser más caros. Estos costos necesitan ser monitoreados en conjunción con los datos de los resultados de la calidad para dar el panorama verdadero del progreso alcanzado con respecto a la calidad en un área determinada.

JIT⁴⁷ cambia el sistema de trabajo de todo mundo con el fin de amplificar la productividad de todos. Las líneas de demarcación tradicionales entre mano de obra directa y la indirecta, entre trabajos de tiempo completo y por horas, y entre actividades profesionales y no profesionales desaparecen. El único indicador válido de la productividad de la gente en un ambiente JIT es aquel que los incluye a todos. De esa forma, los análisis de costo-beneficio (como aquellos entre empleados de mano de obra directa y técnicos asalariados para dar apoyo a equipo de alta tecnología) siempre se tomarán en cuenta. De ninguna forma deberá moverse a una persona de un centro de costos a otro con el fin de que un indicador luzca mejor.

⁴⁷Sólo como recordatorio, el uso del nombre JIT es extensivo a cualquier sistema moderno de manufactura como puede concluirse en el contexto y porque uno de los postulados principales de esta tesis, aunque esté implícito de alguna forma, es que la filosofía de JIT es la que debe regir a cualquier sistema moderno de fabricación.

Indicadores claves del desempeño

Los indicadores claves de desempeño del corto plazo pueden agruparse en las siguientes tres grandes categorías:

- Productividad de la gente
- Calidad del producto
- Utilización del inventario

PRODUCTIVIDAD DE LA GENTE:

Con frecuencia sale a la luz la pregunta ¿qué es la productividad? En su forma más simple, es obtener más para un nivel dado de insumos. Casi todos pueden estar de acuerdo. El siguiente nivel de detalle comienza con las discusiones. ¿qué se entiende por obtener más? ¿consiste en todo lo que hacemos, sin importar si lo vamos a vender?, la respuesta de JIT es muy clara. Cuando se trata de producir a la demanda exacta del cliente, no hay beneficio, y por lo tanto no se debe recompensar una producción en exceso de la demanda. De esta forma, solamente lo que se vende de hecho, debe considerarse como producción.

Los insumos también pueden interpretarse de distintas formas. La gente, el equipo, los activos totales y la energía son bases comunes de insumos, cada uno de ellos tiene más o menos importancia dependiendo de las circunstancias de cada negocio en consideración, por ejemplo, la energía es el insumo más importante en muchas industrias de proceso, dependiendo del producto producido.

Con esto, la producción por persona, por máquina-hora, por pesos de activo, por kilowatt-hora, se utilizan con mucha frecuencia. En muchos casos, las compañías han tratado de combinar todos esos números en una medida de productividad consolidada. Esto se puede complicar, y con frecuencia se requieren datos que no están muy disponibles dentro del proceso normal de la recolección de información. Además, la relación resultante puede ser tan nebulosa, que la gente podrá entenderla difícilmente. El mejor indicador de la productividad será aquel que sea simple y entendible aunque no lo incluya todo.

Ventas por persona

La variable más significativa en el corto plazo en la mayoría de las actividades de fabricación es el número de gente implicada. En los Estados Unidos, el indicador de productividad más ampliamente utilizado es Ventas en Dólares por Persona en la Nómina. De acuerdo al American Productivity Center en Houston, Texas, alrededor del 80% de las compañías americanas lo utilizan. Las ventas en dólares por persona es un indicador muy sencillo, entendible y fácilmente alcanzable. Solamente proporciona el mérito a los embarques reales a los clientes y además incluye toda la nómina. Sus inconvenientes, sin embargo, incluyen el hecho de que la inflación distorsiona las ventas en dólares de año en año (no se diga en México), que el tiempo extra o los

trabajadores eventuales no se tomen en cuenta y que los negocios integrados verticalmente sufrirán cuando estén siendo comparados con negocios de puro ensamble (la única forma de "batir" este indicador es subcontratar todo). El aspecto inflacionario se puede resolver si medimos "ventas unitarias por persona en la nómina". Si la producción se puede establecer en forma de toneladas, litros, metros cuadrados, etc. sería un indicador más estable de la productividad de la gente. Las variaciones en la mezcla de los productos, se pueden manejar igualando la producción a "unidades estándar" de medición que podrían complicar las cosas un poco más. Por otro lado, si se utilizan "ventas en dólares por dólar de nómina" como el indicador de productividad, los efectos inflacionarios sobre las ventas y los costos tenderán a eliminarse unos con otros. Si los costos de la nómina incluyen beneficios sociales, tiempo extra y trabajadores eventuales, será más difícil el superar este indicador. La única cosa que no toma en cuenta es el grado de integración vertical.

Valor agregado por persona

El problema anterior puede solucionarse midiendo la cantidad de "valor agregado por persona en la nómina". En este caso, los costos del contenido de las compras se restan de los ingresos. La diferencia es el valor añadido como un resultado de los esfuerzos de la empresa. Cuando se divide

por el número de la gente en la nómina, la relación resultante será más estable para una diferente variedad de negocios ya que más contenido de valor agregado requerirá generalmente de más gente y viceversa. No obstante, la inflación sigue siendo algo que nos afecta.

El mejor indicador de productividad es "UNIDADES MONETARIAS (sean nuevos pesos o dólares) DE VALOR AÑADIDOS POR DOLAR DE NOMINA". Es un dólar por dólar lo que cancela los efectos de la inflación, especialmente en rotaciones rápidas como en talleres de JIT. Los costos más altos de mano de obra para las operaciones integradas verticalmente se compensan por un factor de valor añadido más alto en el numerador del divisor. En forma similar, márgenes de fábrica más altos para los productos ensamblados que tienen alta tecnología, se compensan por los costos de los ingenieros en el denominador de la ecuación. Los cambios en los costos del personal desde las operaciones hasta el apoyo técnico también se contabilizan. Mejor aún, responde a la pregunta genera ¿cómo nos estamos beneficiando de esta combinación de gente en la nómina?. Los cinco indicadores mencionados, proporcionarán grados distintos de visibilidad, dependiendo de la información que se tiene o que se desea desarrollar. Lo importante, en este punto, es que el que se seleccione sea aplicado consistentemente y que la importancia esté en el mejoramiento relativo a través del tiempo.

CALIDAD DEL PRODUCTO

La meta última de la Calidad en el Origen es partes perfectas siempre. El camino para llegar allí es el mejoramiento continuo. La medida de progreso debe mantener en su centro focal esa meta mientras que también se va contabilizando el costo decreciente de la calidad. Este objetivo dual es similar al reporte de seguridad que la mayor parte de las compañías usan en el cual tanto la frecuencia de los accidentes como su severidad son importantes. Es la combinación del porcentaje de defectos y los costos de calidad lo que da una medida verdadera del desempeño total con respecto a la calidad.

Defectos por millón

Todo mundo en la organización necesita comenzar a pensar acerca del porcentaje de defectos en partes por millón. Las compañías de clase mundial están teniendo 100, 60 e inclusive 20 partes por millón en rechazos de clientes hoy en día. Internamente, desde luego, los números pueden ser más altos. Lo importante es que hay que reorientar la mentalidad de todos para llegar a este nivel altamente significativo de desempeño. En un principio, puede ser desalentador. Una tasa de 1% se traduce en 10,000 partes por millón. Sin embargo, establecerá claramente qué tan lejos hay que llegar para convertirse en un competidor de clase mundial. Desde el punto de vista positivo, el mejoramiento

hecho parecerá más significativo ya que cada décima de punto ganado se traducirá en mil partes por millón. La base para la medición deberá ser un volumen físico (partes, litros, kilogramos, etc.) opuesta a una base laboral (defectos por hora), base monetaria (porcentaje de dólares defectuosos) o alguna otra relación compuesta. La idea es mantener el número lo más simple y puro posible. Debe contestar bien a la pregunta ¿qué tan bien estamos?.

Existen dos áreas de inquietud. La primera es qué tan bien se está cumpliendo con las expectativas de los clientes. Hay muchas cosas que pueden hacerse internamente para ayudar a asegurar de que sólo salgan de la planta productos buenos. Los productos embarcados representan el efecto neto de todos los esfuerzos de la Calidad en el Origen en el mundo externo. Las tasas de rechazos de los clientes, por lo tanto, son las primeras que deben tener medición en partes por millón. Las tasas de defectos internas normalmente están monitoreadas por operación, por máquina, por centro de trabajo, etc. De hecho, normalmente se tienen tantos datos, que es difícil tener a alguien fuera del departamento de calidad que los esté viendo. Demasiada información puede ser tan mala como tener muy poca. La mejor forma de tener a alguien enfocado en la calidad interna es combinar los porcentajes de defectos dentro de un solo número para cada línea de productos (fábrica enfocada) y

otro para toda la planta. Los números absolutos pueden ser aterradores en un principio, y pueden aún aumentar en el transcurso mientras se estrechan los estándares de calidad. Pero estos son "mangos" de donde se tiene agarrada la sartén que la administración puede relacionar y que pueden ser monitoreados fácilmente para dar el "cuadro total" dentro del progreso que se hace en el programa de calidad interna.

Otra razón por la que los defectos de calidad internos y externos se tengan separados, es que la información que se recibe sobre ellos se establecerán en supuestos distintos. Los datos internos estarán casi siempre en "tiempo real", permitiendo actuar rápidamente con acciones correctivas. La retroalimentación externa tendrá un cierto lapso debido a que las causas de los rechazos pueden durar semanas e incluso meses. Tratar de combinar ambos en un periodo, como un mes o un trimestre producirá un indicador artificial de valor muy cuestionable. Una forma buena de tener información sobre los porcentajes de defectos es ponerla en una gráfica de control. Los datos pueden promediarse, graficarse y ser usados para calcular los límites de control, que establecerán el rango esperado de porcentaje de defectos. De esa forma se podrá saber, de mes a mes, cuándo los cambios son variaciones normales o es algo que hay que investigar. Esto ahorrará mucho tiempo al evitar investigar detalles pequeños que no tienen importancia estadística.

Costo de la calidad

Los defectos representan fallas en el sistema de producción en cumplir con las expectativas. Son caros, tal vez más de lo que la gente piensa. Todo mundo le da seguimiento a los costos del desperdicio y los de los retrabajos, representando las fallas internas. Pero hay muchos otros que se registran en muy raras ocasiones, por ejemplo, el tiempo gastado por los ingenieros de estar apagando fuegos y el tiempo de supervisión sobre problemas de rechazos está enterrado en los gastos departamentales. Reinspeccionar material retrabajado está muy pocas veces separado de la inspección normal. El costo de la revisión del área de material almacenado y su mantenimiento son parte de los gastos generales de la planta. Cuando se ponen juntos, estos costos ocultos pueden igualar o exceder los costos de retrabajos y desperdicios.

Por todo eso, los rechazos de los clientes son los más costosos, no solamente desde un punto de vista de costos, sino también por su impacto potencial en empresas futuras, estos son los costos por fallas externas. Costos de garantías y de servicio serían innecesarios si estas fallas nunca hubieran ocurrido. Además, los gastos en las actividades de servicio al cliente para manejar las quejas de los clientes con un gasto en fallas de calidad, pero tienden a abosorberse en el presupuesto del departamento de

ventas. En forma similar, todos los viajes por quejas de clientes que hacen los de ventas e ingeniería para corregir problemas de campo caen en esta categoría. Los costos por fallas externas pueden llegar a ser el doble o el triple de los costos de fallas internas a menos que se descubran primero.

El dinero gastado para encontrar discrepancias antes de que se embarquen al cliente, se clasifican como costo de evaluación. Incluye aspectos como inspección en proceso y final, pruebas, calibración y mantenimiento de equipo de medición, inspección de recibo, auditorías de lotes de proveedores y gastos administrativos relacionados. Las compañías conscientes de la calidad, han invertido bastante en esta área debido a que creen generalmente que una unidad monetaria invertida aquí, puede ahorrar de dos a cinco en costos de desperdicio y retrabajos. Aún así, esta categoría totaliza típicamente la mitad con respecto a los costos por fallas; no ha sido efectivo ya que esto se da después de que la calidad, o su falta más bien de ella, se ha integrado al producto.

Las inversiones que buscan evitar que ocurran los defectos se llaman costos de prevención. Incluyen categorías como diseño de manufactura, mejoramientos de los procesos, mecanismos "a prueba de errores", entrenamiento e implementación de control estadístico de proceso,

evaluación, selección y desarrollo de proveedores, etc. Los estimadores actuales de la industria son de que una unidad monetaria gastada aquí ahorra el equivalente de 4 a 7 unidades en costos de evaluación y fallas. En otras palabras, esta es la categoría que hace posible el mejoramiento de la calidad del producto y al mismo tiempo hace disminuir el costo de la calidad, también es el menos aplicado en las compañías.

Cuando los costos de fallas, evaluación y prevención se totalizan, no es raro descubrir que el costo total de la calidad puede ser entre el 20 a 25% del las ventas⁴⁸, esta es la parte importante del cambio. Un programa bien diseñado e implementado, puede hacer que este número baje al rango del 2 al 3%. Es una oportunidad increíble para el mejoramiento de las utilidades, pero tampoco puede esperarse que se de de la noche a la mañana. Este es un cambio en la cultura organizacional que tomará tiempo⁴⁹.

UTILIZACION DEL INVENTARIO

Por último, se necesita otro número clave que muestre qué tan bien un centro de producción está utilizando los activos que se le asignan. Como se dijo anteriormente, los activos permanentes (como la planta y el equipo) son

⁴⁸Cfr. Crosby P., "La Calidad es Gratis", Mc Graw-Hill

⁴⁹Si se desea profundizar en esto, puede consultarse el libro de Juran y Gryna "Quality Planning and Analysis", 3a. Ed., Mc Graw-Hill, 1993.

inversiones de largo plazo que se miden mejor por el ROI o una modificación del ROI que produzca un retorno solamente sobre los activos permanentes. Los indicadores o medidores del corto plazo deberán aplicarse al capital de trabajo ya que son los únicos activos que pueden quedar afectados por la administración operativa en el corto plazo.

La parte más grande del capital de trabajo, y de hecho, el elemento más importante de toda la base de los activos para la mayor parte de las compañías manufactureras es el inventario. Para muchas empresas, puede llegar a constituir la mitad o los dos tercios de la inversión total. La ley de Pareto podría clasificarlo como un artículo "A". Por coincidencia, es también el "activo" que JIT ha identificado como un pasivo que inhibe la productividad del personal y la calidad del producto. Así que, mientras se quiere que esos dos números vayan para arriba, se motiva para que los niveles de los inventarios vayan para abajo. Esto es especialmente cierto para los inventarios en proceso, el inventario del piso.

Para controlar efectivamente los inventarios, se debe ser capaz de separarlo en 3 categorías: artículos terminados, inventario en proceso y materias primas o componentes comprados. En un principio, puede haber argumentos válidos para mantener bienes terminados con el fin de tener un buen servicio al cliente y material que

proteja proveedores no confiables, pero no hay justificación para un inventario de proceso alto. Debido a que la implementación de JIT comenzará en el piso, cuyas interfaces con clientes y proveedores vendrán después, se necesitará ser capaz de dar seguimiento al progreso de cada segmento en forma separada. En el piso perfecto de JIT, no habrá artículos terminados o materia prima y muy poco inventario en proceso.

Rotación del inventario

Una unidad monetaria de inventario, no obstante ser importante desde un punto de vista del flujo de efectivo, no es tan significativa comparada con su relación al volumen de producción que apoya. Un millón de nuevos pesos en inventario es mucha inversión; pero si ayuda en la producción de cuatro millones de nuevos pesos, es una inversión mejor que si apoyara solamente una producción de dos millones de nuevos pesos. Aunque esta relación llamada rotación del inventario ha sido por mucho tiempo reconocida como un indicador de la administración de los materiales, también es el mejor medidor del corto plazo de la utilización del activo más importante de la gerencia operativa.

De la fórmula del ROI, hay que observar que no se le da importancia a lo que se produce, sino a lo que se vende,

esto refuerza el principio de JIT de producir solamente a la demanda exacta y desalienta la construcción de inventarios para hacer que los números de producción se vean mejor. No se trata de que este indicador muestre un retorno de la inversión, sino qué tan bien se está administrando la inversión para cumplir con las metas de las ventas de la unidad operativa. También ayuda al valor del tiempo en un ambiente JIT, ya que mientras más rápido sea el flujo en el piso, menor será el inventario y mayor será la rotación. La rotación del inventario se calcula en una base mensual, trimestral o anual, en cada caso, el costo de ventas de fabricación para el periodo se analiza y se promedia el inventario. Habrá la tendencia para los datos mensuales de que sean inestables a menos que las ventas sean muy consistentes. Los datos trimestrales serán más representativos y como el caso de la productividad y la calidad, será la tendencia la que realmente cuente.

Días de inventario a la mano

La utilización del inventario puede expresarse también como el número de días de ventas (en unidades monetarias de costo de ventas de fabricación) al que va a ayudar el inventario. Mucha gente prefiere este indicador ya que es más fácil de visualizar que una relación de rotación. Por ejemplo, tener un inventario a la mano , con valor de 90 días cuando el flujo es de 30 días indica que hay mucho

alrededor. El punto clave de decisión para este indicador es si un día es un día calendario o un día de producción. Aquellos que se preocupan sobre el valor del tiempo de la inversión en inventarios argumentarán que está a la mano tanto en los fines de semana como en los días laborables, así que el criterio es usar días calendario. Por otro lado, ese "día" de inventario podría no apoyar un día completo de producción, así que no sería tan útil para la gente de operaciones. Lo mejor es establecer el inventario en términos de días de producción para maximizar su utilidad como referencia.

Debido a que el número de días de producción variarán de mes a mes y con el tiempo extra, la única forma de estabilizar este indicador es tomar el número de días de producción esperado en un año y asignárselo. De esa forma, cualquier dato de rotación puede convertirse en días a la mano dividiendo el número de días de producción en el año por la rotación del inventario.

Días de flujo de fabricación

Si se desean hacer más cálculos, se pueden utilizar los días a la mano de inventario para dar una aproximación del tiempo que tarda un producto en fabricación. Los datos de los días agregados a la mano no lo pueden hacer debido a que son una combinación de materia prima, inventario en proceso y productos terminados, cada uno de los cuales tiene un

valor distinto por día de inventario. Calculando los datos separadamente para cada segmento, se puede saber qué tanto tiempo se pasa en promedio un cierto segmento del inventario durante la fabricación. Sumando los datos, se tendrá el tiempo total de fabricación para la planta en su totalidad, de puerta a puerta.

El primer paso es establecer los valores relativos de los inventarios en cada segmento de tal forma que se puedan calcular factores de inventario. En la medida en que el inventario fluye en la planta, va tomando un costo mayor y también un cierto valor. En este caso, tiene solamente el costo de material mientras permanece en el almacén de materias primas, en segundo lugar, los gastos de mano de obra y los generales se añaden mientras se le hace la transformación; finalmente, el producto terminado se almacena en su lugar respectivo con su valor total del costo de ventas de fabricación antes de embarcarse al cliente. El problema es que los días de inventario a la mano siempre se calcula al costo de ventas de manufactura total pero el único segmento que lleva ese valor es el de los artículos terminados. Como resultado, los días a la mano son siempre menores al tiempo que pasa el artículo por la planta, allí es donde entran en juego los factores del inventario.

Mediante el cálculo de un factor para cada segmento de inventario, basado en su costo relativo del costo de venta

de fabricación, es fácil determinar el promedio "real" del tiempo transcurrido en la planta. En cada caso, el factor es la fracción del costo total de costo de venta de fabricación, representado por ese segmento, el cual se puede tomar a partir del estado de resultados. Por un cierto ejemplo, la materia prima contabiliza el 50%, por lo tanto, el factor será de 0.5; para el inventario en proceso, el contenido del costo del inventario en proceso es 0.5 más la mitad del contenido del contenido que representa la mano de obra y los gastos generales (es la mitad porque es le inventario promedio en esos días), lo que hace tener un valor de 0.75. Los artículos terminados tienen el costo total, por lo que su ponderación es del 100% ó 1.00. El valor del inventario se divide entonces en cada segmento por su factor, esto a su vez, se divide por el número promedio de embarques (en unidades monetarias del costo de venta de fabricación) para obtener el tiempo de entrega o en que está dentro de la planta. Después, se convierte el reporte de días a la mano de inventario en días de entrega como sigue:

INVENTARIO	FACTOR	C. DE V. DE FAB.	DIAS DE ENTREGA	
Materia Prima	1,000,000	0.50	2,000,000	20
Inv. en Proceso	750,000	0.75	1,000,000	10
Art. Terminados	1,000,000	1.00	1,000,000	10

Totales	2,750,000		4,000,000	40

Costo de Ventas de Fabricación promedio: 100,000

Días de inventario a la mano: 27.5

Puede verse con mucha claridad de que el tiempo de flujo equivalente de 40 días es substancialmente mayor que el dato de días de inventario a la mano de 27.5 días. No hay nada equivocado con respecto al uso de los días a la mano agregados para monitorear el mejoramiento continuo de la utilización de los inventarios, sin embargo, si se quiere saber cuánto tiempo fluye el material realmente en la planta, el paso extra de ir a días transcurridos en la planta o días de tiempo de entrega es algo que vale la pena.

CAPITULO 22: RECAPITULACION

En esta tesis se hizo, en su primera parte, un análisis de la filosofía y principios de los sistemas modernos de manufactura, y basada en la importancia del factor humano dentro de esta dinámica, se profundizó al final de esta parte sobre ese tema.

En la segunda parte se analizaron algunos modelos, no todos necesariamente matemáticos, acerca de las interrelaciones de los diversos factores para el éxito en los sistemas de manufactura, de tal forma que al principio se reevaluó el modelo EOQ y se situó su importancia en el lugar que le corresponde, posteriormente se analizó la importancia de la cantidad de preparaciones en la curva de aprendizaje. Estos dos capítulos sirvieron de base a los posteriores: el primero, cuando se hace ver que se puede producir a idealmente una unidad o un número aproximado, proporciona la herramienta para fabricar en modelos mezclados y el segundo sirvió para abordar dos temas: el cambio de los tamaños de lotes en función a las restricciones de capacidad y para comprender de una manera mejor la teoría de restricciones. Mientras tanto, en uno de los capítulos intermedios, en la transición a un sistema moderno de manufactura se analizaron diversas opciones de combinaciones de políticas de prioridades dentro de la producción en un sistema de taller para ver la mejor

combinación de políticas. Finalmente, se abordó el tema de los indicadores dándosele más importancia a la problemática que a los indicadores mismos. A lo largo de toda la tesis se dan referencias para los que deseen profundizar en algunos de los temas vistos.

Este trabajo, no ha sido nada fácil, ha sido el fruto de la recopilación de bibliografía conseguida durante cuatro años mediante la consulta exhaustiva de libros y revistas así como de correspondencia con la mayor parte de los escritores citados, ha sido una experiencia inolvidable, grata y muy satisfactoria. Aunque no lo escribí anteriormente, pero sí lo doy a entender, la filosofía de producción cuando se basa en una adecuada concepción de la dignidad humana, es universal para cualquier sistema productivo. Si hay algún sistema que pretenda ignorar esta variable tan importante puedo asegurar su fracaso rotundo; así que JIT, al hacer un énfasis adecuado en estos valores, puede decirse que su filosofía y principios son universales para cualquier sistema moderno de tecnología productiva. Actualmente se corre un peligro dentro de lo que llamaríamos "Filosofía del Trabajo" ya que al ser el concepto de la dignidad humana clave, es fácil que procure ser definida en base de concepciones marxistas "light" como la concepción de Marcuse; sin afán de discutir presupuestos filosóficos, por más que se quiera maquillar a una filosofía de corte

marxista, no va a dejar de ser lo que es. Hasta la fecha no hay filosofía, excepto la cristiana que haya dado pasos agigantados en este tema y en la dirección correcta, para esto basta consultar las encíclicas sociales desde León XIII con su Rerum Novarum hasta la Centesimus Annus de Juan Pablo II, si hay algo de atractivo en las filosofías de corte marxista es porque algo de bondad deben tener, pero podríamos decir que eso poco lo tienen por participación más que por originalidad, si fueran 100% falsas a nadie le interesaría esas concepciones; este es un buen campo de investigación para los filósofos que podríamos llamar "prácticos".

Al estudiar estos temas he aprendido muchísimo, mi labor ha sido primordialmente de recopilación y selección de material, agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México, a la Universidad Panamericana y a la American Production and Inventory Control Society todas las facilidades prestadas, sin ellas no habría sido posible este trabajo.