

01168

17



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**"EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN
JUSTO A TIEMPO, SU FILOSOFÍA Y
ESTUDIOS DE CASO"**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERÍA
EN INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES**

P R E S E N T A :

JAIR GABRIEL MORALES CAMARENA

DIRECTOR: M. en I. RUBÉN TÉLLEZ SÁNCHEZ

299600



CIUDAD UNIVERSITARIA,

2001



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 esta 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.

DEDICATORIA

Este trabajo se lo quiero dedicar a todas las personas que me apoyaron con su afecto, amistad o consejos.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi primer agradecimiento a la Universidad Nacional Autónoma de México, la cual ha sido siempre generosa en apoyarme y recibirme como miembro de su comunidad; me siento muy afortunado de pertenecer a esta institución.

Al M.I. Rubén Téllez Sánchez le agradezco haber aceptado ser el asesor de esta tesis.

De forma especial quiero reconocer la ayuda de la Dra. Idalia Flores de la Mota y del M.I Javier Suárez Rocha, quienes no solamente revisaron este trabajo, sino que también fueron un importante soporte en mi estancia en el Posgrado de Ingeniería; los conocimientos que de ellos adquirí han sido muy valiosos en mi preparación.

Al Dr. Jesús Acosta Flores y Dr. Sergio Fuentes Maya les agradezco haber revisado este trabajo.

Quiero dar un agradecimiento al Lic. Pedro Pablo Quintero y al Dr. José Luis Castellanos por su amistad y apoyo para realizar mis estudios.

Finalmente a la Dirección General de Estudios de Posgrado le agradezco su soporte.

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO PRIMERO Antecedentes y principios del Justo a Tiempo, una Filosofía de Trabajo	6
1.1 Los orígenes del Justo a Tiempo	7
2.1 La filosofía del Justo a Tiempo	10
CAPÍTULO SEGUNDO El Justo a Tiempo y la producción, una manufactura flexible	17
2.1 El sistema de arrastre o de jalar	18
2.2 La técnica kanban	20
2.3 Producción en células de trabajo	28
2.4 Preparación de la maquinaria	34
2.5 La optimización en la producción	40
2.6 El transporte en <i>JIT</i>	45
2.7 La planificación de la producción	47
2.8 El inventario en un ambiente <i>JIT</i>	51
CAPÍTULO TERCERO La calidad en Justo a Tiempo, un control preventivo	54
3.1 La idea de la calidad en <i>JIT</i>	55
3.2 Inspecciones en la línea de producción	57
3.3 Inspección en la fuente	60
3.4 Procesos a prueba de errores (técnicas poka-yoke)	61
3.5 El control visual	66
3.6 El mantenimiento y la calidad	70
3.7 El control de calidad estadístico, un sistema de información en <i>JIT</i>	71
3.8 La participación de todos dentro de la gestión de la calidad	72

CAPÍTULO CUARTO	73
Las compras <i>JIT</i> , una relación precisa con el exterior	
4.1 <i>JIT</i> y el exterior	74
4.2 Las compras <i>JIT</i>	75
4.3 Eliminación de desperdicios en las compras	78
CAPÍTULO QUINTO	79
La dirección <i>JIT</i> , el respeto por la dimensión Humana	
5.1 El aspecto humano en <i>JIT</i>	80
5.2 Los recursos humanos y la manufactura <i>JIT</i>	81
5.3 La gerencia y los recursos humanos	82
5.4 El ser humano y una empresa <i>JIT</i>	83
5.5 La puesta en marcha	84
5.6 Recomendaciones para la puesta en marcha	90
CAPÍTULO SEXTO	91
Estudios de Caso, GM Complejo Silao	
6.1 El Justo a Tiempo en México, General Motors Complejo Silao	92
6.2 El caso de Egipto, diseñando una planta de fabricación en células	106
CAPÍTULO SEPTIMO	113
El Justo a Tiempo en México, Perspectiva y Oportunidades	
7.1 El justo a Tiempo en México, una perspectiva	114
7.2 Recomendaciones particulares para una exitosa implementación del <i>JIT</i> en México	122
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	125
BIBLIOGRAFÍA	129

ANEXO 1	
La filosofía de la calidad: orígenes y teorías	134
1.1 Los orígenes	135
1.2. Edward Deming	143
1.3 Joseph M Juran	145
1.4 Armand Feigenbaum	147
1.5 Kaoru Ishikawa	149
1.6 Philip B. Crosby	151
1.7 Shigeo Schingo	153
ANEXO 2	155
La estadística y el control de calidad	
2.1 El papel de la estadística en el control de la calidad	156
2.2 Prueba de hipótesis	157
2.3 Procesos de muestreo para la inspección de lotes	160
2.4 Diagramas de control	165
2.5 Análisis de regresión	169
2.6 Análisis de varianza	175

INTRODUCCIÓN

El Justo a Tiempo le modifica a la empresa su forma de pensar y actuar; este cambio afecta a empleados, directivos, proveedores y a todos aquellos entes involucrados dentro de la producción de la empresa. Se puede decir que el Justo a Tiempo plantea una nueva visión del trabajo, por lo que propiamente no es un sistema de producción, sino una filosofía para las empresas. Jair Morales C.

ANTECEDENTES

La acelerada evolución económica y tecnológica del siglo XX ha originado diversos cambios en los sistemas de manufactura; estas nuevas formas de producir han requerido nuevos sistemas de fabricación, nuevas políticas de dirección, nuevas formas de administración, prácticamente nuevas visiones del trabajo. De esta manera, el nacimiento de los diferentes sistemas de manufactura no solamente han originado nuevas técnicas de fabricación, sino han generado nuevas ideas relacionadas a conceptos tales como dirección, administración, calidad, ventas, liderazgo, etc.

En los albores del siglo XXI los métodos de manufactura del futuro se prefiguran como sistemas integradores que apuntan hacia conceptos tales como flexibilidad, integración con proveedores, pensamiento esbelto, manufactura asistida por computadora, grupos autodirigidos, entre otros. En este contexto, el sistema de producción Justo a Tiempo, pionero de muchos de estos conceptos, se ha convertido en un punto de referencia básico para estas nuevas tendencias, lo que hace del Justo a Tiempo un tema obligado de estudio en el campo de la dirección de operaciones.

Si bien durante la década de los 80' y principio de los años 90' se originó una amplia gama de literatura acerca del Justo a Tiempo, gran parte de ésta ha caído en dos grupos: por un lado está la que podemos llamar *reduccionista*; que se caracteriza por presentar solamente algunos elementos básicos del Justo a Tiempo, y por otra parte la *progresista*; en la que se presenta al Justo a Tiempo como parte de un universo de estrategias y sistemas de producción. La del primer tipo es característica de los 80', mientras que la segunda es típica de los años 90'. En esta dicotomía muchos de los elementos del Justo a Tiempo se han terminado por perderse o mezclarse con otros conceptos, lo que sin duda complica un estudio sistemático del Justo a Tiempo.

Asimismo, en el caso particular de México no se tienen aún muchos estudios que reflejen las perspectivas del sistema Justo a Tiempo en este país.

OBJETIVO

Esta tesis se plantea dos tareas esenciales: la primera es la elaboración de un texto que presente de una forma sistemática y completa el sistema Justo a Tiempo; y la segunda, por su lado, consiste en hacer un estudio de la experiencia y perspectiva del Justo a Tiempo en las empresas mexicanas.

METODOLOGÍA

La primera parte del trabajo radicó en hacer un estudio del arte del Justo a Tiempo; esta labor incluyó la revisión de textos, artículos, estudios de caso e información divulgada en Internet. Con el fin de investigar a detalle los alcances del sistema Justo a Tiempo en México, la segunda etapa del trabajo fue una investigación de campo en la General Motors Complejo Silao, empresa que desde que inició sus operaciones en 1995 ha trabajado en un ambiente Justo a Tiempo. Los puntos básicos de análisis fueron: la filosofía de la empresa, el manejo de la producción, el control de calidad, el manejo de los recursos humanos y la relación con los proveedores.

Para realizar tal estudio de caso se visitaron las instalaciones de su complejo ubicado en la ciudad de Silao Guanajuato, y se realizaron entrevistas con administrativos, trabajadores de línea y proveedores.

PRESENTACIÓN

La tesis está constituida por siete capítulos, conclusiones, bibliografía y dos anexos. El primer capítulo estudia la filosofía y antecedentes históricos del Justo a Tiempo. Los capítulos dos, tres y cuatro están orientados a describir el sistema de manufactura, de control de calidad y de compras dentro del sistema Justo a Tiempo.

En el capítulo quinto se presentan los conceptos relacionados a la dirección Justo a Tiempo, así como una propuesta del cómo puede ser implementado este sistema dentro de una empresa.

Los resultados del estudio de caso GM Silao se presentan en el capítulo sexto, en el que también se incluye el caso de la puesta en marcha del Justo a Tiempo en Egipto, una planta de anaqueles y estantería ubicada en Estados Unidos, el cual fue documentado a partir de la revisión bibliográfica hecha.

Finalmente, en el capítulo séptimo se presenta una perspectiva del sistema Justo a Tiempo en México.

Puesto que el control de calidad se ha convertido en un punto esencial en todos los sistemas de producción; se integran a esta tesis dos anexos dedicados al control de calidad: el primero analiza el desarrollo de la gestión de la calidad en el siglo saliente, y el segundo estudia el control estadístico de calidad. Estas secciones pueden ser consultadas aisladamente.

RESUMEN

En la medida en que los sistemas económicos han ido evolucionado, las formas de producción han tenido que desarrollarse y adaptarse a las necesidades de los nuevos mercados de consumo. En la Edad Media la fabricación artesanal debía atender principalmente a mercados domésticos, no obstante, el nacimiento de los estados modernos, la aparición de nuevas rutas comerciales, y el desarrollo económico y tecnológico en general, fueron transformando los talleres domésticos en fábricas; desapareciendo de esta manera los rústicos sistemas de producción manuales, y dando paso a modernos sistemas de producción, los cuales, cada vez más elaborados, debían que satisfacer a mercados más amplios y sofisticados.

En este contexto, el Japón de la posguerra va a ser el escenario del desarrollo de uno de los sistemas de producción más revolucionarios y sofisticados del siglo XX: el del Justo a Tiempo. Este sistema representa una reacción a este nuevo espíritu de competitividad y optimización en la producción. El Justo a Tiempo propone un línea de producción altamente competitiva por su flexibilidad, su reducción de costos y su calidad, asimismo, plantea una innovadora filosofía del trabajo.

Aunque el Justo a Tiempo apareció en el Japón de los años 50, este sistema se extendió a nivel mundial hasta la década de los ochenta.

El Justo a Tiempo es un enfoque de dirección orientado a la reducción de costos por medio de la eliminación del desperdicio, es decir, de todo aquello distinto de la cantidad mínima de recursos, materiales y tiempo laboral requerido en la producción. *Producir las unidades necesarias en la cantidad y en el tiempo preciso*, es el principio de la eliminación del desperdicio, es decir, *producir justo a tiempo*.

Esencialmente una producción Justo a Tiempo significa que todos los elementos necesarios para cada proceso llegarán en el tiempo y número preciso como resultado de los procesos anteriores, procurando fabricar específicamente lo que la demanda marca. Con este sistema se busca básicamente reducir al máximo el inventario, los tiempos muertos entre procesos y los costos de sobreproducción.

La reducción del inventario a través de entregas justo a tiempo es también una acción estratégica de mejoramiento: cuando el stock de reserva es disminuido la empresa se ve obligada a trabajar con la mayor eficiencia, rapidez, y calidad posible, ya que de lo contrario difícilmente cumpliría con sus metas. Por otra parte, una disminución en el inventario ayuda a reducir costos de transporte, de almacenaje y manejo administrativo de stock.

El sistema Justo a Tiempo está compuesto por cuatro elementos primarios: 1) *Una manufactura flexible* capaz de adaptarse a plazos de entrega y ciclos de producción cortos 2) *Un control de calidad* preventivo, el cual debe garantizar una operación libre de errores. 3) *Un compromiso con el exterior* de fomentar una ética de compromiso de parte de la empresa para con sus clientes y para con sus proveedores. 4) *El respeto por la dimensión humana*, es decir, la creación de un ambiente en el que todos los empleados se sientan tratados con dignidad y respeto, al igual que valorados y seguros dentro de su trabajo.

Para satisfacer sus requerimientos el *JIT*¹ tuvo que adoptar e innovar diferentes técnicas y conceptos producción; entre las más importantes podemos mencionar: *Kanban, Poka-Yoke, Control Visual, Shojinka, Feedback, Optimización del Transporte, Compras JIT, Producción en Células, SMED y Mejora Continua.*

La utilización del *JIT* en México ha estado predominantemente restringida a dos sectores: la industria automotriz y la maquiladora. En general, las compañías que han implementado *JIT* en México son plantas modernas que cuentan con trabajadores calificados, buenos estándares de calidad, sistemas de entrega eficientes, así como reducidos tiempos de entrega, de retrasos y de inventarios. Entre las empresas que llevan el *JIT* en México se pueden mencionar la General Motors, la Delphi-Juárez, la SEC, la Volkswagen, la Samsung Tijuana, la Woodhead Juárez, entre otras.

Algunos de los escollos a los que se enfrentan las industrias mexicanas que quieren implementar programas *JIT* son: bajos estándares de calidad, proveedores poco confiables, tecnología deficiente, bajos niveles educativos y redes de comunicación insuficientes.

No obstante sus limitantes, existe una amplia gama de posibilidades para aquellas empresas mexicanas que quieran beneficiarse de la filosofía *JIT*. Empresas como la General Motors Silao y su red de proveedores nacionales son ejemplo de un auténtico sistema *JIT* de *clase mundial*.

¹ El Justo a Tiempo es también llamado *JIT*, las cuales son sus siglas en inglés: *Just in Time*.

1 ANTECEDENTES Y PRINCIPIOS DEL JIT UNA FILOSOFIA DE TRABAJO

"Creo firmemente que la necesidad es la madre de la invención. Incluso mis propios esfuerzos en idear paso a paso el sistema de producción Toyota se basaron en la gran necesidad de descubrir un nuevo método de fabricación que eliminara los costos improductivos y nos permitiera ponernos a la altura de Norteamérica". Taichi Ohno²

² Ohno, Taiichi, "El Sistema de Producción Toyota"; Ediciones Gestión 2000, Barcelona, 1991.

1.1 LOS ORIGENES DEL JUSTO A TIEMPO

El sistema Justo a Tiempo emergió en el Japón de los años 50 como un nuevo enfoque de dirección, el cual tenía como fin disminuir los costos de la producción así como garantizar una producción de alta calidad. Este nuevo sistema de producción fue sistematizado por los japoneses Taiichi Ohno y Shigeo Shingo, los cuales lograron implementar sus ideas exitosamente en la Toyota Motors.

Aunque los principios básicos del Justo a Tiempo (*JIT*)³ no fueron aplicados por primera vez en la Toyota, fue en esta compañía en donde se logró desarrollar ampliamente la base sistémica del *JIT*. Por esta razón, en ocasiones al *JIT* se le llama también sistema de producción Toyota, lo cual propiamente es un error, ya que el sistema de producción Toyota integra algunos elementos que no son contemplados en *JIT*.

Al final de la segunda guerra mundial Japón tenía el importante reto de reactivar su planta productiva así como alcanzar la efectividad del sistema productivo occidental. Las empresas norteamericanas habían obtenido altos niveles de productividad en base a su sistema de fabricación en serie, el cual básicamente estaba orientado a producir lotes grandes de una misma pieza. Aunque este sistema reducía notablemente los costos, tenía la desventaja de limitar la diversidad de la producción, originar grandes inventarios y además dar lugar a otros costos improductivos como tiempos muertos de producción, mucha transportación y excedentes de fabricación.

Al igual que las demás industrias japonesas en los años 40, la Toyota Motors tenía la necesidad de ser competitiva frente a Norteamérica si quería subsistir. El presidente de la Toyota, Toyodo Kiichiro, tenía el claro propósito de alcanzar a Estados Unidos. Ante este gran reto, la Toyota decidió eliminar todos los costos improductivos como medio de reducción de costos y vía de competitividad y eficiencia.

Producir las piezas necesarias justo en el momento en que se necesitan y sólo en la cantidad requerida, fue el punto de partida de la Toyota para reducir sus costos improductivos, buscando de esta forma evitar la improductividad de tener enormes inventarios de piezas. Asimismo, con esta nueva visión también se buscaba satisfacer la necesidad de los clientes de obtener un producto de la forma más rápida, al menor costo posible y con la mejor calidad. La política de la Toyota era conseguir una calidad "perfecta".

³ El origen del término Just in Time parece que se dio en los astilleros.

La idea de producir justo a tiempo dio origen a la utilización de métodos de fabricación diferentes a los tradicionales como la producción en pequeños lotes, el control de producción en el piso del taller (*kanban*), flujo pieza a pieza en las operaciones, etc. De esta forma, se abrió el camino para que la Toyota implantara un revolucionario sistema de producción: el Justo a Tiempo, teniendo a Taiicho Ohno y al Dr. Shigeo Shingo como sus principales impulsores. Si bien Taiicho Ohno fue la figura primordial en la sistematización e implantación del Justo a Tiempo en la Toyota, el ideario del Dr. Shingo y su asesoría a la Toyota fueron esenciales en el desarrollo de este sistema.

La nueva forma de producción (Justo a Tiempo) no tuvo un importante eco dentro de la industria mundial, sino hasta los años 70. La crisis petrolera de 1973 originó severos problemas económicos alrededor del mundo, haciendo que la mayoría de las grandes empresas registraran importantes pérdidas. En este contexto muchas de las compañías japonesas también tuvieron que disminuir su producción y por ende se vieron afectadas en sus beneficios.

De manera particular, el mundo empresarial observó como la Toyota Motors no fue afectada de la misma manera que sus competidoras, si bien en los primeros años de la crisis también se redujeron los beneficios de esta compañía, durante los años de 1975, 1976 y 1977 se consiguieron mantener los ingresos, los cuales estaban muy por arriba de todas sus competidoras mundiales.

Mientras que el clásico sistema de producción en serie no les permitió a la mayoría de las empresas adaptarse a una severa restricción económica, el Justo a Tiempo le facilitó a la Toyota disminuir su producción sin tener que recurrir a importantes cambios, al igual que le fue más sencillo disminuir sus costos. Esta situación mostró los grandes beneficios que tenía este innovador sistema de producción y con ello dio origen a una expansión mundial del *JIT*.

Desde comienzos de los años 80 la filosofía del Justo a Tiempo empezó a invadir a occidente; aunque inicialmente sólo se aplicó para reducir inventarios, esta visión fue ampliándose conforme occidente fue aprendiendo más acerca del *JIT*.

En Estados Unidos la automotriz fue la primera industria en implantar el *JIT* a través del Grupo de Acción de la Industria Automotriz (GAIA); fuera de este sector las empresas norteamericanas que comenzaron a utilizar el *JIT* con los mejores resultados fueron la Omark Industries, Black and Decker y la Hewlett-Packard. Asimismo, a través de sus empresas transnacionales Norteamérica introdujo la filosofía del *JIT* a Europa, Canadá y Latinoamérica desencadenándose un interés mundial por el *JIT* en la década de los 80.

Aunque todos los sectores industriales se han visto influenciados por el *JIT*, ha sido la industria automotriz la que ha recibido el mayor impacto. Con su sistema de producción la Toyota se ha convertido en líder mundial en eficiencia y calidad, lo que ha motivado a que la mayoría de las plantas manufactureras implementen el *JIT* en sus líneas de ensamblaje.

En México algunas de las empresas más importantes que han utilizado el *JIT* exitosamente han sido Xerox, General Motors y Volkswagen.

Aunque el *boom* del *JIT* se dio en los años 80 y principio de los 90, muchos de los conceptos innovados por el *JIT* se han convertido en puntos esenciales de los nuevos sistemas de producción.

Una de las nuevas tendencias del Justo a Tiempo apuntan hacia armadoras como la Volkswagen y la General Motors, las cuales tienen como una de sus líneas de desarrollo llevar al *JIT* a su extremo: esta nueva visión busca que los fabricantes de componentes adapten sus productos en la misma línea de ensamblaje, además, se espera que los proveedores ya no surtan solamente piezas, sino que se encarguen del desarrollo y fabricación de subensambles, es decir, la armadora se convertiría solamente en un sistema integrador responsable únicamente de la publicidad y de las ventas.

1.2 LA FILOSOFIA DEL JUSTO A TIEMPO

El origen del Justo a Tiempo parte de la idea de aumentar la productividad a través de la reducción de costos, su enfoque es disminuir los costos por medio de la eliminación de todo tipo de desperdicio. El desperdicio es todo aquello distinto de la cantidad mínima de equipo, materiales, piezas y tiempo laboral que no agregue valor al producto. En general, las únicas acciones que dan valor agregado al producto son aquellas que están orientadas a transformarlo. En *JIT* se reconocen 7 tipos básicos de desperdicios⁴:

1 Stock: los inventarios no le dan ningún valor a la producción y en cambio generan grandes desperdicios de espacio, de manejo administrativo y de transporte. El stock es el más grave de los desperdicios que se puede dar en una empresa ya que también representa un capital estéril que no genera ninguna utilidad, además, en caso de permanecer mucho tiempo el stock puede terminar por convertirse en material defectuoso u obsoleto.

2 Fabricación de productos defectuosos: un producto con defecto genera desperdicio de tiempo en las inspecciones, asimismo, las devoluciones hechas por productos defectuosos representan uno de los desperdicios más costosos, ya que no sólo generan pérdidas económicas, sino también deterioran la imagen de la compañía.

3. Retraso en el procesamiento: la producción tardía es un desperdicio porque causa paros en la producción al igual que desequilibra el flujo de la producción. Por otro lado, el retraso también puede ocasionar un aumento de material en procesamiento, es decir, se genera más stock.

4. Sobreproducción: la sobreproducción es un desperdicio porque se tiene que almacenar, manejar y contabilizar un stock no requerido. Además, esto puede incidir en un desequilibrio en la producción.

5 Transportación: las actividades de transporte nunca añaden valor al producto y si requieren de importantes recursos materiales y humanos; por eso deben buscarse formas de producción y layouts que ayuden a reducir la necesidad de transportación.

6 Desperdicio en el proceso en sí: en ocasiones los procesos utilizados no son los más económicos o efectivos por lo que pueden representar desperdicios. Antes de tratar de economizar material o aumentar la rapidez de un proceso, se debe cuestionar si el proceso es el más óptimo.

⁴ Ohno, Taiichi, op.cit.

7 Movimientos despilfarradores: cualquier movimiento no agrega valor al producto, por esta causa se deben reducir al máximo todos los movimientos humanos o mecánicos innecesarios.

Producir las unidades necesarias en la cantidad y en el tiempo preciso, es el principio de la eliminación del desperdicio en el *JIT*, es decir, *en hacer entregas justo a tiempo*. Esencialmente la entrega justo a tiempo significa que todos los elementos necesarios para cada proceso llegarán en el tiempo y número preciso como resultado de los procesos anteriores. Con este sistema se busca básicamente reducir al máximo el inventario, los tiempos muertos entre procesos y los costos de sobreproducción. Asimismo, una disminución en el inventario ayuda a reducir costos de transporte, de almacenaje y de manejo administrativo de stock. Estas acciones le darán también un mayor dinamismo al capital de la empresa, una significativa reducción de costos y una mayor flexibilidad en la producción.

La idea de entregar las unidades necesarias en el tiempo preciso debe operar dentro de todo el proceso de producción, es decir, las entregas precisas deben estar orientadas tanto a los clientes externos (consumidores) como a los internos (aquellos inmersos en la línea de producción).

La reducción del inventario a través de entregas justo a tiempo es también una acción estratégica de mejoramiento; normalmente cuando un proceso genera piezas defectuosas o se retrasa, se recurre a los inventarios de seguridad para suplir estos problemas, encubriéndose de esta forma los errores. En cambio, cuando el stock de reserva se va reduciendo, la empresa se ve obligada a atacar directamente sus problemas, ya que de lo contrario no cumpliría con sus obligaciones. Es decir, mientras que los inventarios ayudan a encubrir y a solidificar errores, la reducción de inventario estimula el mejoramiento de la empresa.

El sistema Justo a Tiempo está constituido por 4 elementos básicos:

- **Una manufactura flexible.** El flujo operativo debe ser capaz de adaptarse para producir la cantidad y variedad que requiera la demanda. El flujo también debe tener plazos de entrega muy cortos, de modo que cuando se tengan que hacer cambios en los requerimientos de producción el tiempo de reacción sea corto. El flujo ideal en la producción *JIT* debe ser pieza por pieza, o en su defecto en lotes pequeños.
- **Control de calidad preventivo.** El punto de partida del control de calidad en *JIT* es el reconocimiento de que el control debe estar enfocado a atacar los orígenes de los defectos y no a identificarlos, por ello, el control de calidad en *JIT* es esencialmente un

sistema preventivo. Es decir, mientras que el control de calidad occidental, dependiente de la estadística, se ocupa de encontrar los productos defectuosos, en *JIT* los esfuerzos están dirigidos a eliminar las causas de los defectos. En *JIT* se considera que el tener una producción con cero defectos es plausible y no sólo un ideal.

- **El Respeto por la dimensión humana.** Ya que los trabajadores son los principales responsables de la operación, y por ende del éxito de la compañía, en *JIT* los empleados no son vistos como un costo, sino como un capital. El liderazgo de la empresa debe fomentar un ambiente en el que todos los empleados se sientan involucrados en la dirección de la operación, asimismo se deben establecerse las condiciones para que los empleados se sientan valorados y seguros dentro de su trabajo. En una empresa *JIT* los operadores tienen una participación proactiva, de hecho, parte importante del control y la responsabilidad de la manufactura recae en los trabajadores y no en la gerencia.
- **Compromiso con el exterior.** Un sistema de producción tan preciso como *JIT* requiere de una relación precisa con sus clientes y con sus proveedores, es por esto que debe fomentarse una ética de lealtad y compromiso de parte de la empresa para con sus clientes y para con sus proveedores.

Las entregas justo a tiempo y estos 4 elementos tienen una relación simbiótica, es decir, el cumplimiento de las entregas *JIT* garantizan la existencia de los 4 elementos y análogamente si se dan los 4 elementos se tienen entregas *JIT*.

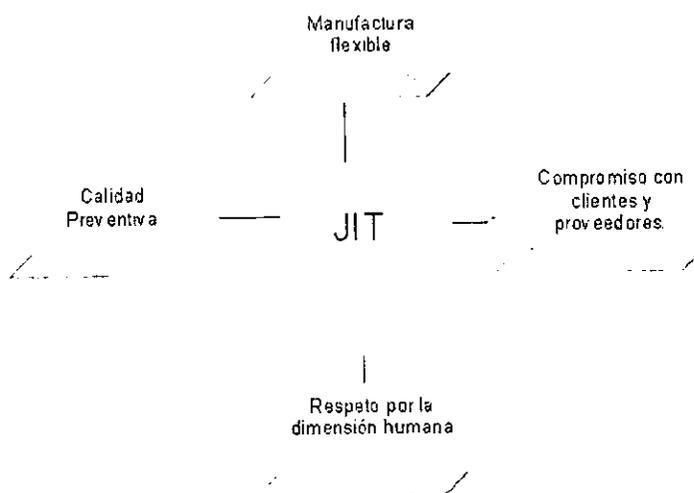


Fig. 1.1 Los elementos básicos del *JIT*

Estos 4 elementos configuran un sistema integral de producción, el cual termina por influir en todas las áreas de la empresa: control de calidad, manufactura, compras, recursos humanos, ventas, administración, etc.

El *JIT* se ha valido de diferentes conceptos y técnicas de producción encaminadas a satisfacer cada uno de los requerimientos de este sistema, los más importantes son: sistema de arrastre, *Kanban*, *Poka – Yoke*, el Control Visual, *Shojinka*, *Feedback*, la Optimización del Transporte, las Compras *JIT*, la Producción en Células , *SMED* y la Mejora Continua.

Sistema de arrastre. El sistema de arrastre es un sistema de fabricación en el que cada operación va jalando únicamente lo que va requiriendo del proceso anterior. En este sistema de fabricación es la línea de producción la que va controlando la entrada y salida de los suministros. Este sistema está pensado para tener una producción uno a uno, es decir, el terminado de una pieza activa la entrada de un nuevo suministro a la línea de producción. Aunque la manufactura uno a uno es el sistema ideal en *JIT* una variante es producir en pequeños lotes. Este forma de fabricar permite disminuir el inventario en proceso, así como llevar una mejor programación de la producción.

Kanban. El *Kanban* o sistema de jalar es un método para controlar la producción y el inventario en el piso del taller; es un medio de información que sirve para mantener el equilibrio entre todos los procesos. Esencialmente el *Kanban* se basa en la utilización de tarjetas que muestran los requerimientos de piezas en cada uno de los procesos.

Poka – Yoke. La idea principal del *poka-yoke* es la de crear procesos en los que los errores sean imposibles de realizar. Mas que un sistema en sí, el *poka-yoke* es un conjunto de técnicas que sirven para implementar mecanismos "inteligentes" dentro de los procesos, los cuales alertan al trabajador en caso de estar cometiendo un error.

Control Visual. En una planta *JIT* se utilizan señales visuales para avisar de errores en la producción, para indicar fallas en la maquinaria, para informar de defectos de calidad, para indicar zonas de seguridad, entre otras cosas. Las señales visuales configuran un sistema de control e información en el sistema de producción *JIT*.

Feedback. Siempre que es detectado un error en alguna etapa del proceso se debe parar la producción e investigar la causa del defecto, corrigiendo los errores en tiempo real y evitando defectos en el futuro. Con esto se pretende no sólo disminuir los defectos, sino prevenirlos.

Producción en Pequeños Lotes o Células de Trabajo. Esta forma de producción consiste en organizar un conjunto de máquinas mixtas en una sola área, de tal manera que se pueda fabricar una pieza del principio al final. Las células son equiparables a pequeñas fábricas ubicadas dentro de una misma planta orientadas a la producción piezas específicas o familias de piezas. El espíritu de las células es reemplazar las largas líneas de producción por un sistema que busca fabricar pieza por pieza o en pequeños lotes. Este sistema tiene la particularidad de que está conformado por máquinas mixtas, las cuales son manejadas por operadores adiestrados para manejar diversos tipos de máquinas.

Polivalencia de Trabajadores y Rotación. En una fábrica *JIT* se motiva el entrenamiento múltiple de los trabajadores, ya que los operadores deben ser capaces de manejar diferentes tipos de máquinas. Una estrategia efectiva para capacitar operadores polivalentes es el planear un programa de rotación de actividades, en las que los trabajadores de una célula rotan sus tareas periódicamente.

Shojinka. Consiste en el aumento o disminución del número de trabajadores en una sección o célula con el objeto de aumentar o disminuir la producción de ciertas piezas. El *shojinka* es un método en el cual se flexibiliza el número de trabajadores de una línea de producción para adaptarse a los cambios en la demanda.

SMED⁵. El alistamiento de la maquinaria comprende principalmente aspectos como la preparación de materiales o herramientas, el montaje o desmontaje de ciertas piezas, el ajuste de maquinaria, la retirada de útiles, etc. Puesto que en este proceso se observan retrasos derivados por ausencia de herramientas requeridas, sistemas de montaje deficientes y tiempos de ajuste largos, el *SMED* es una técnica dirigida a optimizar todos los fases de la preparación de maquinaria.

El *SMED* es un punto esencial en *JIT*; un rápido cambio de preparación de maquinaria contribuye a la reducción de stocks en proceso, a la disminución en los ciclos de producción, al igual que permite la flexibilidad en la producción, todos estos puntos básicos en *JIT*.

Compras *JIT*. Una mala programación en las compras puede originar un dispendioso stock, por ello, se deben planear compras frecuentes en pequeños lotes, buscando de esta forma reducir al máximo el inventario. El certificar a los proveedores, simplificar el trámite en las compras y la reducción del número de proveedores son algunas de las acciones que sirven para tener compras

⁵ El significado de las siglas *SMED* es "single minute exchange die" (cambio de útil en un sólo dígito).

JIT. El reto de la empresa es tener proveedores que también utilicen *JIT* como sistema de producción.

Mejoramiento del Transporte. Puesto que una buena parte del tiempo ocupado en los procesos de producción está destinado al transporte, es fundamental atacar este punto. El movimiento como tal no añade ningún valor al producto, por lo que el *JIT* propone una nueva visión del transporte. La mejora real no consiste en optimizar los sistemas de transporte, sino en eliminarlos tanto como sea posible.

Compromiso con la mejora Continua. El *JIT* requiere que las compañías se integren a una dinámica de mejoramiento continuo; una planta *JIT* siempre debe estar buscando formas de eliminar desperdicios en los sistemas de transporte, en los procesos, en las entregas o en los diseños de piezas. La premisa básica es que el mejoramiento no tiene límites.

La implementación del *JIT* se convierte en una estrategia de competencia para la empresa: se fabrica con mejor calidad, se reducen los gastos, se optimizan los sistemas de entrega y se aumenta la capacidad para fabricar productos con diferentes características. Asimismo, al tener un sistema flexible, barato y con un inventario reducido, los cambios en la demanda originados por crisis, competencias corporativas o algún otro factor, son más fácilmente superados por una empresa *JIT*.

Ya que *JIT* es una propuesta global de producción, es sin duda una herramienta muy poderosa para las empresas, sin embargo, este mismo aspecto la hace complicada de adoptar, ya que el implementar *JIT* exige una reconversión total de la compañía, acción que requiere mucho esfuerzo.

Puesto que el enfoque *JIT* traspasa las fronteras de la manufactura para proponerle a las empresas una innovadora visión de las ventas, los recursos humanos, el control de calidad, el liderazgo, la administración, entre otros aspectos, más que un sistema de producción, el Justo a Tiempo se ha convertido en una filosofía de trabajo para las empresas.

Puesto que *JIT* es una propuesta global de producción, son muchos los beneficios que se pueden obtener a través de su implantación, en el siguiente cuadro se muestran los más importantes:

Área	Beneficios del <i>JIT</i>
Manufactura	<p>Sistema más flexible y adaptable a la demanda.</p> <p>Se puede producir mayor variedad de productos.</p> <p>Los ciclos de fabricación se reducen.</p> <p>Los tiempos de alistamiento de maquinaria son disminuidos. (<i>SMED</i>).</p>
Calidad	<p>Con la fabricación uno a uno o en pequeños lotes, se garantiza una mayor calidad.</p> <p>Se disminuyen muchos errores de operación (<i>poka-yoke</i>).</p> <p>Se ataca el origen de los defectos inspeccionando las causas de éstos en tiempo real (<i>feedback</i>).</p>
Recursos Humanos	<p>El trabajador adquiere un mayor compromiso para con la empresa.</p> <p>Se establece un sistema en que los trabajadores son más valorados y tienen una participación proactiva.</p>
Costos	<p>Los costos son reducidos gracias a la simplificación del transporte, la reducción de inventario, la optimización de las operaciones, etc., finalmente en <i>JIT</i> se buscan eliminar todos los desperdicios.</p>
Exterior	<p>Los tiempos de entrega se reducen.</p> <p>Se mejora el servicio a los clientes vía calidad y costo.</p> <p>Se establece una mejor relación con los proveedores.</p>



LA PRODUCCIÓN JIT

UNA MANUFACTURA FLEXIBLE

“La producción Justo a Tiempo es un método de adaptación a las modificaciones y cambios en la demanda, mediante el cual todas las áreas producen los bienes necesarios, en el momento oportuno y en las cantidades precisas”. Yasuhiro Monden,⁶

⁶ Monden, Yasuhiro, “El Sistema de Producción de Toyota”, Ciencias de la Dirección S.A., Madrid, 1988.

2.1 EL SISTEMA DE ARRASTRE O DE JALAR

En todo sistema de producción se debe que tener un orden en lo referente a la entrada y salida de piezas en cada etapa de la producción, de lo contrario, los inventarios y la sincronía de los procesos entrarían en un caos.

Normalmente en la mayoría de los sistemas de producción este control se lleva a cabo mediante la planeación de programas de producción para todos los procesos. Cuando se está trabajando con este tipo de programas las piezas son empujadas al siguiente proceso, no importando si se requieren o no; de esta manera se continúan supliendo materiales aunque no se necesiten. Una vez que ya se han puesto en marcha los programas dentro de la planta es complicado cambiar las órdenes, por lo que este es un sistema inflexible y difícilmente se adapta a cambios originados por retrasos o problemas surgidos en algún proceso. Como resultado se tienen que mantener inventarios en todos los procesos para protegerse contra retrasos y cambios imprevistos.

En contraste a este sistema de producción, el de arrastre es un sistema de fabricación en el que cada operación va jalando únicamente lo que va requiriendo del proceso anterior. Esta forma de producir parte de la idea de que sólo en la línea de producción se puede conocer con precisión el tiempo y la cantidad de elementos que se necesitarán, por ello, es dentro de la línea donde se decide los elementos requeridos del proceso anterior.

El sistema de jalar es un sistema de producción en el que la responsabilidad y control de la producción es transferida a los operadores. Los responsables de la línea pueden tanto reanudar como parar la producción según sea lo conveniente. En general, lo que se busca es tener un sistema equilibrado, de tal forma que se reduzca a lo máximo el inventario en proceso.

El sistema de arrastre está pensado para tener una producción uno a uno, es decir, el terminado de una pieza debe indicar la entrada de un nuevo material a procesa. Aunque la manufactura uno a uno es el sistema ideal en *JIT*, una variante es producir en pequeños lotes.

En general el sistema de jalar evita los siguientes problemas:

- Los tiempos de paro entre dos puntos de programación.
- La necesidad de mantener stock extra para contrarrestar los desequilibrios originados por fallas o retrasos en los procesos.

- La necesidad de reprogramar cada vez en que los desequilibrios excedan el nivel de cobertura ofrecido por el stock extra.
- La necesidad de planificar todos los puntos del proceso fijando metas y asegurándose que se cumplan.

Asimismo, este sistema ofrece las siguientes ventajas:

- Ejecución automática de la programación.
- Máximo uso de la capacidad productiva acorde con los flujos posibles.
- Control visual. En una producción en pequeños lotes se puede visualizar fácilmente el flujo de la operación, detectándose inmediatamente problemas o paros en la línea.
- Dirección de la mejora continua con las mismas herramientas que se emplean para la dirección de la rutina. Esto es posible porque el sistema rechaza funcionar sobre la base de estándares precodificados e incambiables, que generarían resistencia a la mejora.

En esencia, esta forma de producir imita el sistema de ventas de un supermercado: cada cliente va tomando lo que requiere y la compañía sólo supe lo que se va consumiendo. Puesto que este sistema tiene como fin producir solamente lo requerido por la demanda en el tiempo solicitado, la manufactura uno a uno es una pieza fundamental dentro de *JIT*.

Ya que en el sistema de arrastre no se requieren elaborar programas de fabricación para el conjunto de los procesos, este sistema de producción debe permitirle a todos los procesos conocer con exactitud los tiempos y las cantidades requeridas de insumos. Para cubrir este requerimiento Taiichi Ohno desarrolló un sistema llamado *kanban*.

2.2 LA TÉCNICA KANBAN

El *kanban* es un sistema de información basado en el uso de letreros o tarjetas llamadas *kanban*, en las que se vacía la información concerniente al flujo de la producción. En el proceso ordinario de control los *kanbans* proveen tres tipos básicos de información:

- Identificación: indica lo que es el producto.
- Instrucciones de trabajo: describe lo que debe hacerse, en cuanto tiempo y en que cantidad.
- Transferencia: indica el lugar a donde el artículo debe transportarse.

Existen dos tipos básico de *kanban*: de transporte y de producción. El primero especifica el tipo y la cantidad de producto a retirar por el proceso posterior, mientras que el *kanban* de producción indica el tipo y la cantidad a fabricar por el proceso anterior. De esta manera, con un *kanban* de entrada y otro de salida se puede administrar el flujo de la producción en la planta.

Logística del Kanban. El *kanban* permite que el flujo de la operación sea controlado dentro de la línea de producción, en donde se solicitan los submontajes o componentes de acuerdo con las necesidades de la línea. El funcionamiento estándar del *kanban* es el siguiente (Fig. 2.1)⁷.

1. El operario del siguiente proceso se dirige al almacén del proceso anterior en una carretilla, llevando el número necesario de *kanbans* de transporte y de contenedores vacíos. Esta operación se efectúa cuando en el buzón de *kanban* de transporte se ha acumulado cierto número predeterminado de éstos.

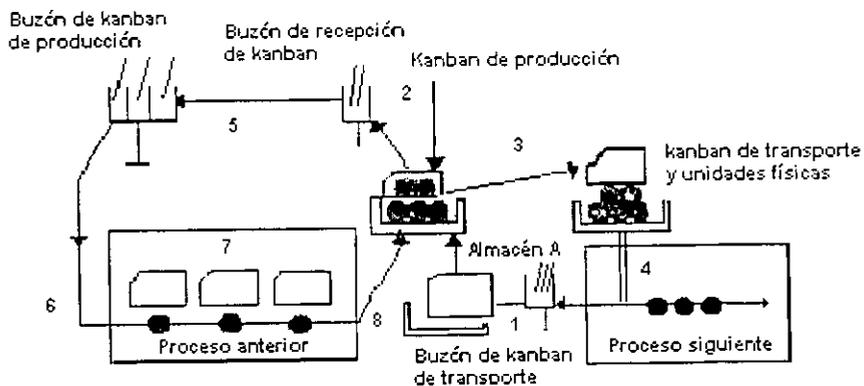


Fig. 2.1 Logística del Kanban

⁷ Monden, Yasuhiro, op. cit.

2. Al recoger las piezas del almacén A, el operario de transporte despegar los *kanbans* de producción adheridos a las unidades físicas en los contenedores (cada contenedor lleva una ficha *kanban*) y los deja en el buzón de recepción correspondiente, llevando después los contenedores al lugar designado en el proceso anterior.
3. El operador adhiere un *kanban* de transporte de los que llevaba por cada *kanban* de producción despegado, comparando cuidadosamente los datos de los *kanbans* de ambos tipos.
4. Cada *kanban* de transporte debe dejarse en su correspondiente buzón al iniciarse el trabajo en el siguiente proceso.
5. En el proceso anterior las órdenes *kanban* de producción deberán recogerse de su buzón de recepción cada cierto tiempo o cuando se haya producido cierto número de unidades, colocándose en el buzón de *kanban* de producción en la misma secuencia con que se hayan despegado en el almacén A.
6. Se fabricarán las piezas siguiendo la secuencia ordinal de los *kanban* de producción en su buzón.
7. Las unidades físicas recorren su proceso a la par que los *kanban*.

Completado el proceso de las unidades físicas, éstas y los *kanbans* de producción se dejarán en el almacén, a fin de ser recogidas en su momento por el proceso posterior. De esta manera todas las unidades de la producción estarán interconectadas con *kanbans*, originando que en cada proceso sólo se reciba lo necesario en el tiempo preciso y se conserve el equilibrio entre los diferentes procesos.

En un sistema *kanban* ideal los proveedores deben de entregar suministros de acuerdo con las necesidades existentes, para que de esta manera se tenga equilibrado el stock. Un proceso controlado por *kanbans* es autoreglativo, ya que cada fase de la producción se activa por necesidades.

Taiicho Ohno sintetiza las funciones y reglas de uso de los *Kanbans* en la siguiente tabla⁸:

Funciones del <i>Kanban</i>	Reglas de Uso
Facilita información de retirada o transporte.	El último proceso retira el número de artículos indicados por el <i>kanban</i> en el primer proceso.
Facilita información de producción.	El primer proceso facilita artículos en la cantidad y periodicidad indicadas en un <i>kanban</i> .
Previene el exceso de producción y el transporte innecesario.	No se transportan ni fabrican artículos sin un <i>kanban</i> .
Sirve como pedido de fabricación adherido a los productos.	Siempre debe adherirse un <i>kanban</i> a los productos.
Previene los productos defectuosos al identificar el proceso que los produce.	Los productos defectuosos no se envían al siguiente proceso. El resultado es de un 100% de productos sin defectos.
Revela los problemas existentes y mantiene el control de stock.	Reduciendo el número de <i>kanbans</i> se incrementa su eficiencia.

⁸ Ohno, Taiichi, op. cit.

Número de *Kanbans*

En *JIT* el inventario es controlado por el número de *kanbans* existentes en el sistema, por ello, es muy importante calcular el número *kanbans* que se requieren. Para este calculo se han propuesto las siguientes fórmulas:

Kanban de producción (KP)

$$KP = \frac{PD (TE + TP) (1 + AS)}{CC}$$

Kanban de transporte

$$KT = \frac{PD (TE \cdot AS)}{CC}$$

Tal que:

PD = Promedio diario de la demanda diaria en el mes.

TE = Tiempo de espera en el centro de trabajo para que se consuma el contenedor desde que llega hasta que sale.

TP = Tiempo de procesamiento, incluyendo el llenado del contenedor.

AS = Almacén de seguridad (10% de la demanda diaria)

TE : Tiempo requerido entre tomar el *kanban* del centro del trabajo y regresarlo con el contenedor de partes.

Información necesaria en una etiqueta *kanban*

La información en un *kanban* debe contemplar tanto los requerimientos de manufactura como los del proveedor del material. Generalmente en un *kanban* se indican los siguientes puntos:

- 1.- Numero de parte del componente y su descripción
- 2.- Nombre / Número del producto
- 3.- Cantidad requerida del producto
- 4.- Tipo de manejo del material requerido
- 5.- Especificación del lugar donde será almacenado
- 6.- Punto de reorden
- 7.- Secuencia de ensamble del producto

Item			Desde unidad	A unidad
Contenedor			Localización almacenaje	Localización almacenaje
Tipo	Número	No. de Items		

kanban de transporte

Unidad		
Item		No. de Items
Materiales a retirar		
Localización de retirada		Localización
Tomado para unidad		Localización

kanban de orden de trabajo

Fig. 2.2 Ejemplos de *kanbans*

Implementación del *Kanban*

Normalmente los sistemas *kanban* pueden aplicarse solamente en fábricas que impliquen producción repetitiva, sin embargo, la naturaleza repetitiva de la producción puede no ejercer mucha influencia si existen inestabilidades cuantitativas o temporales. Normalmente los sistemas *kanban* no son aplicables en una producción de artículos diversificados con pedidos infrecuentes e imprevisibles.

Antes de implementar *kanban* es necesario realizar las siguientes acciones:

- 1- Determinar un sistema de calendarización de producción para los ensambles finales.
- 2- Establecer una ruta de *kanban* que refleje el flujo de materiales. Esto implica designar lugares para que no haya confusión en el manejo de materiales.
- 3- El uso de *kanban* debe estar ligado a sistemas de producción de lotes pequeños.
- 4- Se recomienda que los artículos de valor especial sean tratados de forma particular.
- 5- Se debe facilitar una buena comunicación entre el departamento de ventas y producción para que se puedan avisar con anticipación de los posibles cambios en la demanda.

Existen 4 fases esenciales para implementar el *kanban*:

- Fase 1. Entrenar a todo el personal en los principios del *kanban* y sus beneficios.
- Fase 2. Implementar el *kanban* en aquellos componentes con más problemas para facilitar su manufactura y para resaltar los problemas escondidos.
- Fase 3. Implementar el *kanban* en el resto de los componentes, esto no debe ser problema ya que para esto los operadores ya han visto las ventajas del *kanban*. Se deben tomar en cuenta todas las opiniones de los operadores ya que ellos son los que mejor conocen el sistema.
- Fase 4. Esta fase consiste en la revisión del sistema *kanban*, se deben señalar los puntos a reordenar y aquellas partes que aún no están funcionando al 100%.

Beneficios del *Kanban*

Fijando el número de *kanbans* se puede regular el flujo global de la producción, permitiendo controlar así el stock, y mantener el mínimo necesario. Por otra parte, este sistema produce ahorros administrativos ya que le transfiere a los encargados de la línea de producción la responsabilidad de regular y modificar los programas de producción. Particularmente por medio del uso del *kanban* sólo se requiere enviar la información al último proceso y éste será el detonador para que la información fluya a todos los procesos de manera ordenada y económica.

Por otro lado, la reducción en los almacenes elimina el papel del stock como amortiguador de posibles errores o inestabilidades en la producción, lo que pone al descubierto los procesos irregulares o defectuosos, obligando a que la fábrica se enfoque a optimizar aquellos puntos que requieren mejora. De esta forma la eficiencia global se incrementa concentrándose en los elementos más débiles.

El *kanban* origina 4 beneficios esenciales:

- Eliminación de stock innecesario (en la línea de producción y en terminado)
- Flexibilidad a cambios en la demanda
- Calidad total enganchada al sistema de producción
- Capacidad para identificar los procesos incorrectos o cuellos de botella.

Casos Especiales de *Kanbans*

Existen algunos otros tipos especiales de *kanban*: aquellos que son usados para realizar pedidos a un proveedor o subcontratista (*kanban* de proveedor), los que contienen instrucciones a seguir para entregar las piezas o materiales, los *kanbans* urgentes que se emiten en caso de escasez de una pieza la cual deben ser suplida inmediatamente.

Nuevas tendencias del *Kanban*

El uso del *kanban* en un sector cada vez más amplio de empresas, así como el desarrollo tecnológico, han motivado la aparición de diferentes sistemas computarizados de *kanban*, así como de nuevas concepciones del mismo.

Una de las innovaciones más utilizadas es el llamado *kanban asistido por computadora*, el cual consiste en controlar digitalmente la entrada y salida de material, haciendo más rápido y eficiente el flujo de material. Un ejemplo de este *kanban* es el EPS (*Electronic Pull System*), el cual es utilizado en industrias como la General Motors.

Una de las desventajas del *kanban* tradicional es que normalmente puede ser utilizado solamente para procesos repetitivos y "*timings*" de producción muy definidos. Para salvar estas

limitantes han aparecido nuevos tipos de *kanban* como el CONWIP (*Constant Work in Progress*), este tipo de *kanban* no opera como el sistema tradicional, sino es utilizado como un link entre las diferentes etapas en la producción. Cuando un producto o lote es terminado, la carta es enviada al proceso inicial, con lo que se autoriza el inicio de un nuevo ciclo de producción.

El *kanban* CONWIP puede ser utilizado en una célula de trabajo, en una línea de ensamblaje o en toda la planta, esto dependerá de las necesidades del proceso.

El *kanban* no necesariamente debe ser una tarjeta, sino también pueden ser usadas señales electrónicas, mensajes digitales o cualquier otros sistema de aviso. Finalmente los tipos de *kanbans* así como su uso, se pueden ir ajustando al propio flujo de la empresa y a la inventiva e imaginación de los jefes de la línea de producción.

2.3 PRODUCCIÓN EN CÉLULAS DE TRABAJO

El *JIT* es un sistema de producción ocupado en satisfacer las necesidades del cliente, es decir, busca siempre adecuarse a la demanda. Puesto que las necesidades del cliente cada vez exigen una mayor diversidad en la producción y una mayor reducción de los tiempos de entrega, el *JIT* se ha valido de la producción en células como un medio efectivo para disminuir los tiempos de entrega y diversificar las características de la producción.

Una célula es una unidad de trabajo automatizada capaz de fabricar una pieza completa; las células están constituidas por una o varias máquinas capaces de realizar diferentes procesos. El espíritu de las células es reemplazar a las largas líneas de flujo por un sistema en el que se busca fabricar pieza por pieza o en pequeños lotes. Estas líneas de producción compactas fabrican normalmente piezas similares, aunque también pueden ser diferentes. Este sistema propone una filosofía de producción orientada al producto y no a los procesos.

Las células son equiparables a pequeñas fábricas ubicadas dentro de la misma planta, son un conjunto de líneas multiprocesos que fabrican piezas similares de principio a fin, estas líneas deben estar diseñadas para fabricar pieza por pieza o en pequeños lotes. De esta forma, una planta es concebida como un conjunto de pequeñas fábricas orientadas a un objetivo común. Esta forma de producir le da a la línea de producción una mayor flexibilidad en términos de variedad y volumen.

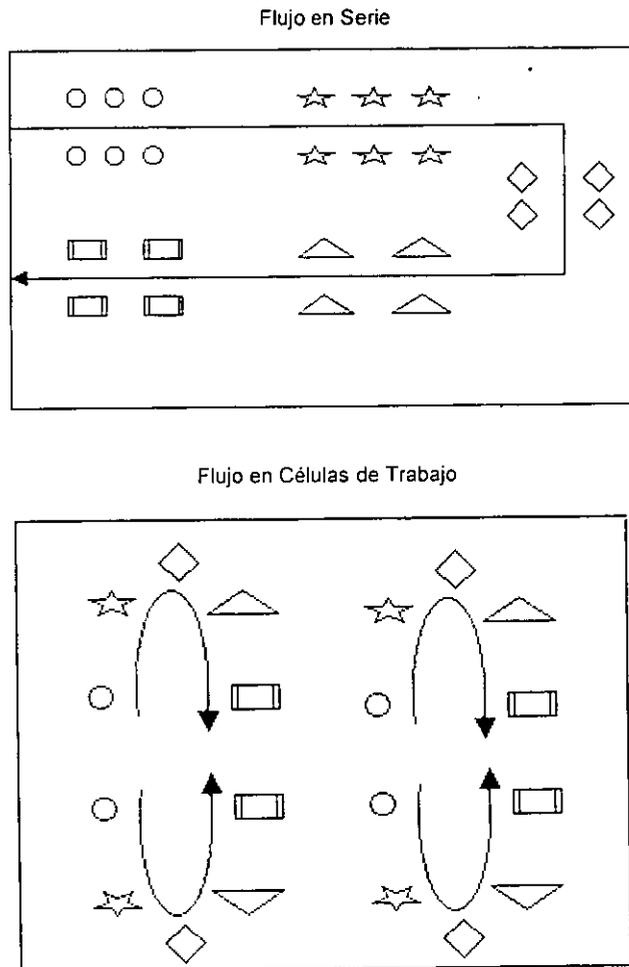
En un sistema normal de producción, en vez de colocar diferentes máquinas en una misma sección para fabricar totalmente una pieza, se tienen áreas en las que se concentra un sólo proceso, por ejemplo, en un mismo sector se colocan todos los taladros, de tal forma que una vez que ya ha sido transformado la materia prima, ésta sea transportada al área de fresado en donde nuevamente será procesada, y así sucesivamente hasta que la pieza sea terminada. Si bien, esta forma de producir reduce el costo promedio de fabricación (vía volumen), este sistema aumenta el plazo total de fabricación y los niveles de stock, aspectos eliminados en una producción celular.

La organización de las fábricas en célula es viable tanto para plantas pequeñas como aquellas plantas de alto volumen. Un buen diseño de células no sólo incluye la organización de las máquinas, sino también la organización de las máquinas y la creación de almacenes descentralizados por cada célula o grupo de células.

Los principales beneficios de la producción en células son: reducción de plazos de producción, mayor flexibilidad en el tipo y volumen de la producción, mínimo inventario en proceso, disminución de transporte y reducción del espacio requerido. En contraparte, las principales desventajas de este sistema es que se debe aumentar el número de máquinas y se deben preparar a los operadores para que desempeñen diversas funciones.

Puesto que dentro de una misma unidad celular se tienen máquinas de diferentes tipos, esta tecnología de producción requiere que los operadores sean polivalentes, es decir, que estén adiestrados para manejar diferentes tipos de máquinas.

En los siguientes esquemas se muestra un flujo tradicional en serie, y otro flujo en células de trabajo (Fig. 2.3).



Figs. 2.3 Flujo en serie y en células

Operarios Polivalentes y Células de Manufactura

Puesto que la producción en células está conformada por líneas multiprocesos, en una planta *JIT* se requieren de trabajadores adiestrados en el uso de diferentes máquinas: esmeriles, taladros, tornos, etc.

En una célula de trabajo el operador comienza por tomar una unidad y colocarla en la primera máquina, de tal manera que mientras la primera máquina está trabajando, el operador prepara la segunda máquina. Terminado el primer proceso el operador lleva a la segunda unidad el material, para alistar nuevamente la primera máquina con un nuevo material y dirigirse posteriormente a preparar la máquina 3. En una célula de trabajo un mismo operador puede incluso manejar más de tres tipos de máquinas diferentes.

Además, en una célula las máquinas están muy próximas y los operarios se desplazan fácilmente. La proximidad de las máquinas evita largos desplazamientos y garantiza un ciclo de producción más ágil y un encadenamiento más rápido de las operaciones.

Con este método se logra el objetivo de fabrica pieza por pieza o en pequeños lotes, disminuir la complejidad del transporte, reducir el volumen de existencias en proceso de fabricación, aumentar el compromiso del trabajador con la calidad del producto y disminuir el ciclo de producción. Estos factores son decisivos para que la empresa pueda adaptarse fácilmente a los cambios en la demanda, garantizando con ello entregas Justo a Tiempo.

Rotación de Actividades

Un medio efectivo para entrenar y garantizar la eficiencia de operadores polivalentes es el planear un programa de rotación de actividades. En principio todos los trabajadores deben ser adiestrados para llevar a cabo todas las tareas llevados a cabo dentro de su sección (o célula), para que de esta forma se puedan intercambiar los operadores.

Un buen programa de rotación de tareas comienza con la polivalencia del oficial o jefe de sección, el cual debe estar adiestrado en el manejo de los diferentes procesos efectuados dentro de su sección. Posteriormente se debe manejar un entrenamiento de tal suerte que todos los trabajadores de una sección sean capaces de manejar las diferentes operaciones de su línea de producción.

Una vez que se tengan trabajadores polivalentes se deben establecer programas de trabajo en los que los operadores roten sus tareas. La frecuencia de la rotación puede variar dependiendo de diversos factores como la intensidad de trabajo en cada área, la dificultad o desgaste físico de cierto proceso, políticas de la sección o incluso los propios operadores pueden participar en la programación. En la empresa GM complejo Silao se tienen periodos de rotación que varían de meses a días.

Los beneficios más importantes que traen consigo la rotación de tareas son:

- Se elimina el riesgo que implica la inasistencia de algún operador.
- Mayor flexibilidad en la producción modificando la cantidad de trabajadores en cierta área (*shojinka*).
- Se mejoran las relaciones humanas; promoviéndose la ayuda mutua y la comunicación entre los trabajadores.
- Todos los trabajadores se responsabilizan de la producción y no solamente de un proceso.
- Se eliminan sentimientos de injusticia; las labores pesadas son repartidas de manera uniforme entre los operadores.
- Se mejora la actitud de los trabajadores, se disminuye la fatiga muscular y con ello los trabajadores estén más atentos en la operación, lo que ayuda a reducir el número de accidentes.
- Se mantiene un mismo estándar en la producción; ya que se motiva el intercambio de ideas y conocimientos entre todos los operadores.

En la polivalencia y rotación de tareas está implícita una idea de respeto por el desarrollo humano: un operador no va a estar destinado a manejar toda su vida un turno o realizar la misma actividad (Fig 2.4).

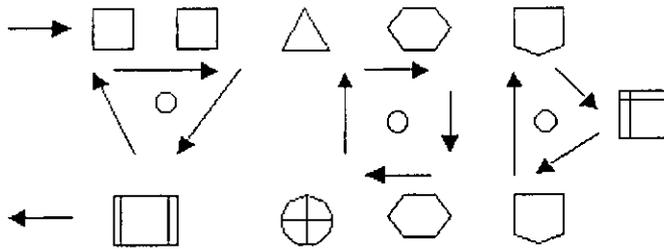


Fig. 2.4 Trabajadores polivalentes en una célula de producción

Shojinka: recursos humanos flexibles, líneas de producción flexibles

Shojinka consiste en el aumento o disminución del número de trabajadores en una sección o célula con el objeto de aumentar o disminuir la manufactura de cierto producto. Es decir, es un método en el cual se flexibiliza el número de trabajadores de una línea de producción para adaptarse a los cambios en la demanda.

El espíritu del *shojinka* es incrementar la producción mediante un ajuste y reprogramación de los recursos humanos de una fábrica. Ya que los trabajadores son polivalentes, este ajuste se puede llevar a cabo fácilmente en una planta *JIT*.

Otra bondad de esta técnica es que cuando la demanda aumenta aparte de reprogramar los recursos humanos, se puede hacer uso de las horas extras, y de esta manera no se tiene la necesidad de recontratar más personal, evitando así que en tiempos de poca producción se tenga que despedir mucho personal. En un sistema *JIT* siempre se trata de operar con el mínimo personal necesario y en caso de que se requiera aumentar la producción se hace uso del *shojinka* y de las horas extras. Esta política le da a los recursos humanos una mayor seguridad en sus trabajos, lo que fomenta una mayor lealtad del trabajador para con la empresa.

Además, en el caso de que la demanda disminuya, en vez de continuar con el mismo nivel de producción y con ello aumentar dispendiosamente los stocks, se pueden utilizar los tiempos muertos para entrenar al personal, organizar círculos de calidad o enfocar algunas líneas de producción en la fabricación de piezas que normalmente son compradas.

De esta manera, la reprogramación de los trabajadores según la demanda, le permite a la empresa tener una mayor flexibilidad ante los cambios del mercado, lo que finalmente redituará en una mayor fortaleza.

Distribución de una fabrica JIT

Una vez que se ha decidido implementar células de trabajo operadas por trabajadores polivalentes es fundamental diseñar una distribución óptima de las células. La distribución más recomendable es una formación en U, ya que este diseño permite que la entrada y la salida de la línea de trabajo se encuentren en la misma posición, lo que ayuda a controlar más eficazmente una producción uno a uno, es decir, la salida de cada pieza procesada marca la entrada de un nuevo suministro a la línea.

Esta distribución también permite una mejor visibilidad dentro de la célula, lo que favorece una mayor comunicación entre los trabajadores, al igual que garantiza el equilibrio de la producción (es más fácil percibir cuando alguna área se está saturando o retrasando). Uno de los beneficios más importantes de la distribución en U es que esta formación optimiza los espacios dentro de la planta (Fig 2.5).

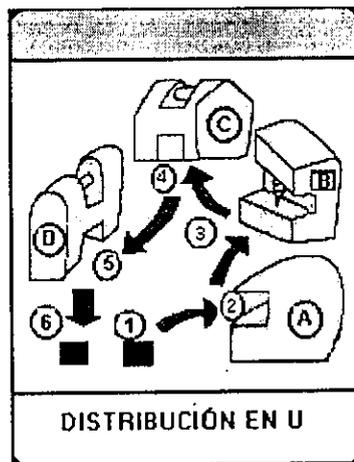


Fig. 2.5

Otros tipos de distribuciones como pueden ser la de islotes reducen la posibilidad de comunicación entre las células, al igual que la flexibilidad de trasladar trabajadores a otras secciones (*shojinka*). Por otro lado, una distribución lineal aunque también permite la polivalencia y la producción uno a uno, la reasignación de recursos humanos es más complicada que en una formación en U.

Al ordenar la línea de producción en U los operarios están también ordenados físicamente en U, lado a lado, espalda a espalda, sin que se obstaculicen. La idea es que cada persona en la celda tenga oportunidad de alcanzar el máximo trabajo posible. Asimismo, por su cercana colocación un operador puede cargar y descargar las piezas de una máquina a otra manualmente.

2.4 PREPARACION DE LA MAQUINARIA

“La reducción de los tiempos de preparación ayuda a mejorar la producción en su conjunto. Por esta razón el sistema SMED ha sido un elemento esencial en el desarrollo del sistema de producción Toyota”. Shigeo Shingo⁹

En un sistema que exige plazos de entrega muy cortos y una producción uno a uno, los tiempos de preparación de la maquinaria se vuelven procedimientos críticos en el buen funcionamiento de la línea de producción.

Generalmente en una producción en serie el tiempo de preparación de la maquinaria no es tan relevante, ya que puesto que se fabrican altos volúmenes de una misma pieza, el sistema no exige que se tengan que llevar a cabo constantes alistamientos de maquinaria, sin embargo, en un dinámica en la que se producen fluidamente bajos volúmenes y lo que se busca es la diversidad y no la cantidad como es el *JIT*, el tiempo de alistamiento de las maquinas debe ser necesariamente rápido y eficiente, de lo contrario, los cambios de maquinaria se convierten en cuellos de botella que terminan paralizando prácticamente la línea de producción.

Esta exigencia fue detectada por la Toyota cuando se enfrentó al reto de implementar *JIT*, la respuesta a tal necesidad fue dada por el Dr Shingo. Siendo consultor de una de las plantas de la Toyota (1970), Shigeo logró disminuir el tiempo de preparación de una prensa de 1000 toneladas en más de un 50%. Anteriormente el Dr. Shingo ya había logrado resultados similares en la Toyo Kogyo de Mazda (1950) y en la Mitsubishi (1957).

Los logros obtenidos empíricamente en la disminución en los tiempos de preparación de máquinas fueron posteriormente teorizados por el propio Dr. Shingo, quien innovó la técnica *SMED* ("single minute exchange die" o intercambio de troqueles en menos de un dígito) la cual ayuda a disminuir el tiempo de preparación de las máquinas a menos de diez minutos. El *SMED* se ha convertido en un punto básico en *JIT*.

⁹ Shingo, Shigeo, El Sistema de Producción Toyota desde el Punto de Vista de la Ingeniería", Tecnologías de Gremia y Producción S.A, Madrid, 1990.

SMED

El alistamiento de la maquinaria comprende principalmente aspectos como la preparación de materiales o herramientas, el montaje o desmontaje de ciertas piezas, el ajuste de maquinaria, la retirada de útiles, etc. En este proceso se observan retrasos derivados por ausencia de herramientas requeridas, sistemas de montaje deficientes y tiempos de ajuste largos. La técnica *SMED* está dirigida a optimizar todos los fases de la preparación de maquinaria.

Una manera sencilla de entender al *SMED* es observando el cambio de neumáticos en una competencia de autos: una vez que el corredor para su auto, el cambio de llantas se realiza en unos segundos, este cambio tan rápido se debe a que los técnicos ya tienen listas todas las herramientas y elementos requeridos para llevar a cabo el cambio. En contraparte, un conductor normal se tarda mucho más tiempo en cambiar un neumático, ya que antes de hacer cualquier operación tiene que alistar los útiles necesarios para cambiar el neumático, lo que le consumirá bastante tiempo. En esencia el *SMED* consiste en preparar todos los útiles y condiciones requeridas para llevar a cabo el cambio de maquinaria de la manera más rápido posible.

El *SMED*, según Shigeo Shingo, está conformado por 8 técnicas básicas¹⁰:

1 Separar las Operaciones de Preparación Internas de las Externas

La primera acción en *SMED* es el identificar claramente cuáles de las operaciones de preparación deben realizarse mientras la máquina está parada y cuáles pueden realizarse mientras la máquina está en operación. Con esta información se está en posibilidad de alistar todas aquellas acciones que pueden llevarse a cabo mientras la máquina esta aún funcionando, lo que significa que todo va a estar listo cuando se tenga que hacer el cambio de máquina.

2 Convertir Preparación Interna en Externa

Este es el principio más poderoso del sistema *SMED*, sin él difícilmente se pueden alcanzar los tiempos de preparación de un sólo dígito. En primera instancia esta operación requiere examinar las operaciones para ver si existen algunos pasos que se han asumido erróneamente como internos. Como siguiente paso deben buscar alternativas para convertir preparaciones internas en externas.

¹⁰ Shingo, Shigeo, op. cit.

3 Estandarizar la función, no la forma

Estandarizar la forma y tamaño de los útiles puede reducir considerablemente los tiempos de preparación. Generalmente la estandarización de la función requiere solamente uniformidad en las partes necesarias para las operaciones en preparación.

4 Utilizar mordazas funcionales o eliminar cierres completamente

Un tornillo es el mecanismo de mordaza más usado, pero asegurarlo puede consumir bastante tiempo; apretar los tronillos no es de ninguna manera el único modo de asegurar elementos; el utilizar cuñas, topes, grapas o resortes reducen los tiempos de preparación considerablemente.

5 Utilizar plantillas intermedias

Algunos de los retrasos debidos a ajustes durante la preparación interna pueden eliminarse utilizando plantillas estandarizadas. Mientras se está trabajando sobre una pieza fijada en una plantilla, la pieza siguiente se fija y se centra en una segunda plantilla. De esta forma cuando se termina la primera pieza, la segunda pieza fijada en la plantilla se monta fácilmente en la máquina para su proceso.

6 Adoptar modos de operación paralelos

Algunas operaciones, como las efectuadas sobre máquinas de moldear o de fundición a presión, invariablemente involucran trabajos en ambos lados o en la parte frontal y trasera de la máquina. No obstante cuando dos personas realizan simultáneamente operaciones paralelas, el tiempo de preparación se puede reducir bastante debido a las economías de movimiento:

Cuando se emplean tales operaciones paralelas, las horas – hombre de preparación son las mismas o menores que si se hiciesen con un sólo trabajador, pero la tasa de operación de la máquina se incrementa. El método se rechaza a menudo por que se piensa que no se puede disponer de otro trabajador para ayudar a las preparaciones, sin embargo, si las operaciones se reducen a poco tiempo, se requerirá un menor tiempo de ayuda. Con estas preparaciones simplificadas, incluso los trabajadores no entrenados pueden proveer la asistencia necesaria con efectividad.

7 Eliminar Ajustes

Asumir que el ajuste es inevitable da lugar a unos tiempos de preparación internos necesariamente largos y requiere un alto nivel de entrenamiento y experiencia por parte del operador. Los ajustes son poco a poco más pequeños conforme el montaje gana en precisión. El primer paso es hacer calibraciones que eliminen la necesidad de confiar en la intuición; si todo lo que se requiere es una aproximación, una escala graduada puede ser suficiente, pero esto no sería suficiente en todos los casos, de hecho, se alcanza una mayor precisión utilizando una escala magnética o un mecanismo de control numérico. La mejor clase de ajustes es no tener que hacer ajustes.

8 Mecanización

Aunque el cambio de pequeñas plantillas, útiles, topes o calibres puede no ser mucho problema, a menudo es importante la mecanización para mover eficientemente los grandes troqueles, bloques para fundición y moldes para plástico. La inversión en mecanización debe considerarse muy cuidadosamente. La mecanización sólo debe contemplarse después de haber hecho todos los esfuerzos para mejorar las preparaciones de máquinas y trabajos.

En general, las acciones que facturan los mayores beneficios del *SMED* son:

- Separación entre operaciones externas e internas.
- Cambio de operaciones internas a externas.
- Eliminación de ajustes.
- Fijación sin tornillos.

La implementación del *SMED*

Una exitosa implementación del *SMED* requiere un conjunto de acciones sistémicas, las cuales finalmente deben estar dirigidas al mejoramiento continuo en la preparación de la maquinaria. En general, una buena implementación del *SMED* sigue 4 pasos estratégicos:

1 Evaluación de la preparación. En un primer acercamiento aún no se han distinguido las preparaciones externas de las internas, por ello se debe analizar cuidadosamente como se está llevando a cabo el proceso, así como identificar que preparaciones externas se están llevando a cabo cuando no está operando la máquina, es recomendable que se tomen los tiempos requeridos. Una técnica de análisis consiste en tomar videos de la preparación, para que éstos sean discutidos por los propios trabajadores.

2 Separación de preparaciones externas e internas. Una vez que se ha hecho un juicioso estudio de la preparación, se deben dividir todas las acciones en preparaciones externas e internas, para que se lleven a cabo con antelación todas las preparaciones posibles antes de que la máquina deje de operar. Asimismo, se deben enlistar todos los elementos, procesos y condiciones requeridos en la preparación, para que se puedan optimizar todos estos puntos.

En esta etapa también se debe investigar e implementar los métodos más eficientes para transportar útiles y otros elementos requeridos mientras la máquina está en funcionamiento. El paso 2 representa la acción más importante en *SMED*, ya que normalmente reduce el tiempo de preparación de un 20% a un 50% del tiempo original.

3. Convertir preparaciones internas en externas. En esta etapa se deben buscar todas aquellas preparaciones internas que pueden ser transformadas en externas, por ejemplo el precalentamiento de un molde mientras la máquina está aún operando ayuda a eliminar la necesidad de hacerlo durante la preparación interna.

4. Perfeccionar todos los aspectos de la preparación. De forma crónica siempre se debe estar examinando todas las operaciones externas e internas, con el fin de simplificarlas o mejorarlas. Esta continua revisión debe servir para eliminar todos los tipos de ajustes, al igual que simplificar todos los métodos de fijación requeridos.

Beneficios del *SMED*

Los principales beneficios que se obtienen de una exitosa implementación del *SMED* en una planta son:

- Incremento en el rendimiento de la maquinaria. Los tiempos de preparación se reducen drásticamente, y con ello las tasas de trabajo de las máquinas se incrementarán.
- Eliminación de los errores de preparación. Los errores de preparación se reducen, y la eliminación de las operaciones de ensayo disminuyen la incidencia de defectos.
- Mejora de la calidad. Se mejora la calidad en cuanto las condiciones operacionales se regulan completamente con antelación.
- Incremento de la seguridad. En general, las preparaciones más simples son las más seguras.

- Simplificación del área de trabajo. La estandarización reduce el número de herramientas que se requieren, y las que continúan necesitándose se organizan más funcionalmente.
- Menor nivel de entrenamiento y requerimientos. La facilidad de los cambios de útiles elimina la necesidad de trabajadores entrenados.
- Eliminación de largas esperas por complicados montajes.

Finalmente *SMED* es un punto esencial en *JIT*; un rápido cambio de preparación de maquinaria contribuye a la reducción de stocks en proceso, a la disminución en los ciclos de producción, al igual que permite la flexibilidad en la producción, todos estos puntos básicos en *JIT*.

2.5 LA OPTIMIZACIÓN EN LA PRODUCCIÓN

En un sistema comprometido en eliminar cualquier tipo de desperdicio una acción primordial es optimizar todos los procesos y operaciones dentro de la producción. En principio es importante distinguir que los procesos son todas aquellas funciones encaminadas a transformar el material en producto (como la manufactura y la transportación), mientras que las operaciones son las acciones llevadas a cabo por los trabajadores y las máquinas.

El mejorar los procesos y operaciones no sólo ayudan a eliminar posibles desperdicios como lo pueden ser la subutilización de recursos humanos o los desperdicios originados en procesos de manufactura, sino también ayuda a que el trabajo se realice de una manera más ágil; aspecto necesarios para asegurar ciclos de producción cortos en un ambiente flexible de producción.

Un plan general para mejorar las operaciones debe incluir tres fases:

Fase 1 Eliminar Operaciones Innecesarias. La primera acción a realizar debe estar dirigida a identificar todas aquellas acciones inútiles que deben ser eliminadas como tiempos de espera, transportación doble, movimientos superfluos, etc.

Fase 2 Disminuir Operaciones sin valor añadido. Se deben buscar formas de reducir o simplificar todas aquellas operaciones que aunque no generan ningún valor añadido (cambios de herramientas o transporte) son estrictamente necesarias.

Fase 3 Optimización de Acciones con valor añadido. Todas aquellas acciones que añaden valor, es decir, las que transforman a la materia prima, deben ser mejoradas por medio de la automatización (*Jidoka*).

Mejora en los procesos

Puesto que finalmente las operaciones dependen de los procesos, antes de mejorar las operaciones se deben que mejorar los procesos. Esencialmente los procesos están conformados por 4 actividades: el proceso en sí (transformación del material) , el transporte, la inspección de la producción y los espacios de espera (tiempos muertos durante el cual no se hace nada) .

Básicamente los procesos (transformaciones) son mejorados por dos tipos de acciones: por un lado aquellas actividades que van dirigidas a mejorar el diseño del producto en sí, y en segundo término aquellas acciones que tienen por objeto la optimización del proceso de fabricación.

Ambas acciones deben estar dirigidas a disminuir los defectos, costos y tiempos de producción, procurando conservar un excelente estándar de calidad.

En *JIT* las *inspecciones* están dirigidas a garantizar una producción con cero defectos, por ello, las inspecciones no se llevan a cabo una vez terminado un lote, sino dentro del mismo proceso. Para ello se recomiendan hacer inspecciones sucesivas y autoinspecciones: en la inspección sucesiva los trabajadores revisan las partes que provienen de operaciones previas antes de procesarlas ellos mismos. Por su lado, la autoinspección busca establecer mecanismos que automáticamente detecten defectos o fallos inadvertidos.

Otra arista primordial en las inspecciones *JIT* es que éstas deben buscar las causas de los posibles defectos, como pueden ser averías en la maquinaria o procedimientos defectuosos; de esta manera no se detectan defectos, sino las causas de éstos. Esta es una visión diferente al control de calidad occidental (control de calidad estadístico), el cual no va hacia los orígenes, sino hace una revisión una vez terminados los productos. Por la importancia de este tema más adelante se dedicará más espacio a la explicación de este punto en la sección dedicada al control de calidad en *JIT*.

Para que una planta opere en un ambiente *JIT* se debe que garantizar un flujo de procesos rápido, de lo contrario difícilmente se podrían tener entregas justo a tiempo. Es por esta causa que los *retrasos* deben ser reducidos al máximo. Los dos retrasos más frecuentes que se pueden dar en una planta son los retrasos por procesos y los retrasos de lote. Los primeros son aquellos que son originados dentro del proceso de fabricación en sí, mientras que los segundos se originan por acumulación imprevisto de stock entre procesos.

En muchos de los casos los retrasos suelen darse cuando se tiene una deficiente programación, por ello la clave para reducir al máximo las demoras está en hacer una efectiva nivelación de cantidades, es decir, producir cantidades iguales en cada proceso. Asimismo, se deben equilibrar las cantidades producidas y las capacidades de proceso de la planta. Esta parte es estudiada más a detalle en la sección de programación de la producción.

Otras consideraciones prácticas para disminuir las demoras son:

- Acortar el ciclo de programación conduce a reducir los tiempos de espera.
- Disminuir el tamaño de los lotes de producción, reducen los tiempos de espera.

- Un adecuado control de los pedidos ayuda a eliminar los tiempos de espera previos al arranque de la producción.
- Un chequeo continuo de la maquinaria es útil en la prevención de plausibles averías que pudieran causar demoras en la producción.

Mejora en las operaciones manuales

En una planta *JIT* siempre se debe estar trabajando con el personal mínimo necesario, ya que de esta manera se evitará cualquier desperdicio de recursos humanos y además, como se ha explicado con anterioridad, en épocas de baja producción no se tienen que hacer recortes de personal, generando así mayor confianza y compromiso con la empresa de parte de los trabajadores. La necesidad de trabajar con el mínimo personal motiva a que la compañía tenga que estar constantemente eliminando todas aquellas operaciones innecesarias, para poder de esta forma hacer una reasignación de operaciones y de esta forma eliminar al personal que no sea indispensable. Algunas acciones que se pueden llevar a cabo para mejorar el rendimiento de los operadores son:

- Alistarle a los operarios los suministros requeridos en lugares cercanos o introducir métodos que reduzcan sus desplazamientos.
- Adaptar las herramientas para eliminar movimientos inútiles o dispendiosos.
- Colocar los interruptores entre las máquina, para que la puesta en marcha de una máquina se haga cuando el operario se esté trasladando de una maquina a otra.
- Mejorar el entorno del trabajo para prevenir accidentes.
- Reubicación de almacenes a zonas de rápido acceso.

Estandarización de Operaciones

Una vez que se han estudiado las formas más eficientes de llevar a cabo las operaciones manuales, uno de los puntos clave en la optimización de los recursos humanos se encuentra en la estandarización de las operaciones. Básicamente la estandarización consiste en establecer "normativamente" las acciones más eficientes para llevar a cabo cada operación, para que estas normas sirvan de guía de operación en la planta.

La estandarización de las operaciones deben motivar una alta productividad por parte del trabajador, no obstante, es importante señalar que en *JIT* un operador no es más productivo a base de un trabajo agotador y dispendioso, sino mediante un trabajo eficaz.

La puesta en marcha de una estandarización debe incluir tres acciones:

- 1) Ruta estándar de operaciones. Consiste en ordenar las acciones a llevar a cabo por cada trabajador en un ciclo de tiempo dado. En la ruta estándar se deben tomar en cuenta el orden en que deben tomarse las piezas y colocarlas o retirarlas de la máquina, además, la ruta debe indicar la secuencia de operaciones que el trabajador polivalente debe efectuar en varias máquinas durante un mismo ciclo. El tiempo en el que se debe llevar a cabo un ciclo de operación debe ser determinado por el jefe de la línea, el cual está bien entrenado en cada una de las operaciones.
- 2) Ciclo estándar de fabricación. En este paso se debe buscar un equilibrio entre todos los procesos de una línea de producción. Es esencial que se determinen los tiempos de fabricación estándar de cada producto o elemento.
- 3) Cantidad estándar de trabajo en curso. Una vez que ya se tienen los tiempos estándares de fabricación, es importante que se planifique el número necesario de unidades a realizar por cada trabajador, de esta manera se elimina toda existencia en curso y por lo tanto de stock.

Una eficiente estandarización de la operación en una planta permite hacer una adecuada distribución de trabajadores, lo que garantiza que se esté trabajando con el personal mínimo requerido.

Para llevar el registro de la estandarización de las tareas se puede recurrir a la elaboración de hojas estándares de operaciones, en las cuales se deben incluir la descripción detallada de las actividades requeridas para realizar un trabajo dentro de una línea de trabajo. Estas hojas son muy útiles ya que funcionan como guías de trabajo, lo que permite mejorar la operación, facilitar el entrenamiento de nuevos elementos, y además, representa una visión objetiva de la operación.

Mejoras en las Operaciones Mecanizadas (*Jidoka*)

Un elemento importante en el sistema *JIT* es el mejoramiento de las operaciones mediante la integración de maquinaria que automatice los procesos. Puesto que la compra de robots u otras máquinas automáticas representa un elevado costo, una nueva maquinaria debe garantizar una reducción de personal, al igual que un auténtico beneficio en la producción. En esencia la filosofía del *Jidoka* afirma que la compra de máquinas automáticas debe originarse por una necesidad, y no por un deseo de reemplazar funciones.

Las mejoras en la maquinaria deben ser hechas estrictamente una vez que se han optimizado las operaciones humanas, ya que una reducción de personal puede llevarse a cabo mejorando la organización humana, y no sólo a base de adquirir máquinas automáticas. Además, en caso de que las mejoras en la maquinaria no generen los resultados esperados se tendrán importantes pérdidas, en cambio, si se falla en una reorganización de las operaciones humanas los costos no serán altos.

Es importante señalar que la introducción de unidades automatizadas disminuye la flexibilidad de la planta (*shojinka*), ya que existe la necesidad de asignar personal específico al uso de las máquinas, por ello, es recomendable que las estaciones de trabajo estén tan cercanas como sea posible, para que los trabajadores puedan cambiarse fácilmente de máquina, reduciéndose de esta forma el número de trabajadores requeridos.

2.6 EL TRANSPORTE EN JIT

“La mayoría de las personas intentan mejorar el transporte utilizando toboganes, vehículos, transportadores de rodillos, etc., que, actualmente, sólo mejoran el trabajo del transporte. La mejora real elimina la función de transporte tanto como sea posible”. Shigeo Shingo¹¹

El uso del transporte en *JIT* refleja nitidamente la idea básica de esta filosofía de producción: la disminución del desperdicio a través de entregas justo a tiempo. El transporte como tal es un desperdicio ya que no agrega ningún valor al producto. Puesto que la producción *JIT* exige entregas y ciclos de producción cortos, se requiere contar con un sistema capaz de reducir lo más posible los tiempos de transporte, sin embargo, la mejor manera de agilizar el sistema de transporte no es mejorándolo en sí, sino eliminándolo a lo máximo, es decir, entre menos movimientos se hagan se tendrá una manufactura más rápida, eficiente y barata. De esta manera, las entregas justo a tiempo obligan a que se trate de eliminar al máximo el transporte, el cual es uno de los desperdicios más costosos dentro de una fábrica.

Aunque la consigna básica en *JIT* es eliminar todo aquel movimiento innecesario, también se requieren proponer sistemas de transportes rápidos y eficientes, de lo contrario, difícilmente se pueden garantizar ciclos de producción cortos. Generalmente lo más recomendable es mecanizar el sistema de transporte; el uso de bandas mecánicas o canales pueden ser medios efectivos de transporte.

Ya que la mecanización genera un alto costo, es muy importante que primero se haga un detallado estudio de todas las posibilidades de disminuir o eliminar movimientos innecesarios. En esta tarea la optimización del layout de la fábrica juega un papel relevante. Los responsables de planeación deben simular todas las posibles formas de layouts, de tal forma que se encuentre aquella que acorte lo más posible los tiempos y las necesidades de transporte.

Es importante puntualizar que la primera acción a tomar es mejorar la operación del transporte, antes que buscar mejoras en el transporte en sí, ya que lo que se busca es finalmente disminuir tiempos y costos, y no mejorar el sistema de transporte per se.

¹¹ Shigeo Shingo, op.cit.

Otras acciones que se pueden llevar a cabo para disminuir costos en el transporte son:

- Recibir los insumos de parte del proveedor en el lugar de uso.
- Establecer plataformas de agrupación en donde cada proveedor aprovisione por las tardes los insumos que se le indiquen un día antes.
- Establecer estándares en tiempos de transporte, demoras y manejo de material, para que de esta manera se tengan controlados los tiempos.
- Buscar otras empresas que tengan las mismas necesidades de transporte y de esta manera compartir gastos.
- Motivar a que el proveedor en un mismo viaje transporte insumos a diferentes clientes.

2.7 LA PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

El equilibrio y perfecto funcionamiento de todos los elementos dentro de la producción son puntos básicos en una planta que trabaja en un ambiente *JIT*; si un proceso de trabajo no tuviera un ritmo de producción equilibrado con respecto a los otros procesos, se crearían problemas de excedentes o faltantes de material, lo que originaría ya sea retrasos o inventarios innecesarios en el proceso.

La planeación de un eficiente programa de producción es vital para la armonía de un sistema que exige cantidades y tiempos precisos de entrega en cada una de las áreas de fabricación. El objetivo primario de la planificación en *JIT* es adaptar la producción a la demanda de los clientes, apuntando que los clientes pueden ser tantos internos como externos, es decir, lo mismo una línea de producción que un comprador.

Los elementos esenciales en la planificación *JIT* son los siguientes:

- Nivelación de la producción.
- Estabilización de los flujos de producción.
- Equilibrado de las operaciones.

Nivelación de la producción

La nivelación de la producción consiste en programar los flujos de producción de tal suerte que cada proceso fabrique sólo la cantidad requerida por el siguiente proceso, con el fin de producir paralelamente a las demandas de los clientes. Para llevar cabo la nivelación se deben tener controlados los tiempos de fabricación así como los volúmenes de producción.

Puesto que en una planta *JIT* se tienen operaciones estándares, los ciclos de fabricación deben estar debidamente estandarizados y cuantificados. Por otra parte, en la planificación de los volúmenes de producción se deben contemplar dos consideraciones: la flexibilidad del programa y la mezcla en la producción.

Flexibilidad del programa. En *JIT* se recomienda hacer por lo menos tres tipos de programas de producción: uno anual, un mensual y otro diario. El programa anual es un plan especulativo basado en la demanda prevista; este plan aunque es especulativo, sirve como una guía general para la empresa.

Por su parte, el programa mensual debe hacerse en base a pedidos ya confirmados y en parte a estimaciones de posibles pedidos. El programa diario es un plan detallado el cual se diseña a partir de pedidos ya confirmados. Una compañía también puede desarrollar planes semanales, trimestrales o bimestrales, finalmente la elección debe estar soportada tanto en los tiempos de fabricación como en la frecuencia de la demanda. No obstante, debe señalarse que en los casos en que los ciclos de fabricación sean mayores a los de las demandas, siempre existirá un factor especulativo.

La elaboración de programas a cortos plazos es un factor decisivo en la flexibilidad de *JIT*, entre menor sea el horizonte de planeación es más fácil poder adecuar la línea de producción a la demanda.

Producción Mezclada. En *JIT* no sólo se requiere nivelar la cantidad de producción, sino también los tipos de productos. A diferencia del sistema de producción en serie, en *JIT* no se programa en un periodo de tiempo la fabricación de un sólo tipo de producto, sino diariamente se realiza la producción de diferentes tipos de productos. Con esta acción se logra una mayor sincronía con la demanda.

En un sistema de producción en serie la planeación es normalmente de la siguiente forma: dada una demanda de 3 tipos de productos A,B y C (los cuales los requerirá el cliente en cantidades iguales semanalmente), la fabrica establece el siguiente plan de producción:

Semana 1	Semana 2	Semana 3
Producto A	Producto B	Producto C

Buscando con ello entregarle al cliente la producción al fin de tres semanas, en contraparte, una planificación *JIT* sería de la siguiente forma:

Semana 1	Semana 2	Semana 3
Producto ABC	Producto ABC	Producto ABC

Con este plan se busca producir semanalmente las cantidades requeridas de A,B y C por el cliente.

En comparación a la primera programación, con este plan se disminuye el inventario de reserva para hacerle frente a la demanda, ya que se está produciendo de acuerdo a lo requerido.

Una de las desventajas de este tipo de planificación es que obliga a que se tengan que hacer cambios de montajes más frecuentes, sin embargo, una vez que ya se ha implementado *SMED* esto no representará un problema para una planta *JIT*.

Las principales ventajas que se tienen por implementar una nivelación de la carga son:

- Mayor flexibilidad para responder a la demanda.
- Reducción del inventario de trabajo en proceso.
- Tiempos de producción más cortos.

Estabilización de los flujos de producción

Para poder programar eficientemente es primordial que se tengan estabilizados los flujos de producción. Ryuji Fukuda ¹² señala 5 medidas para tener una producción estable:

1. *Nivelación de cargas*. En este paso se pretende mantener constante el output de cada producto. Para ello se recomienda una reducción del tamaño de los lotes de producción, una nivelación en base diaria y mantener un suministro de piezas o materiales óptimo.
2. *Mantener capacidad estable*. Se debe procurar una estabilización de la capacidad, para ello se puede recurrir al uso de tiempo extra o mejorar la potencia de la maquinaria.
3. *Ajustar capacidades de acuerdo con cargas*. Es importante suplir la falta de capacidad temporal, al respecto se pueden reducir los tiempos de paradas o reasignar personal.
4. *Ajustar las cargas de acorde con la capacidad*. Para ajustar se deben recurrir a cambios en el programa de producción y cambios en los tiempos de entrega.
5. *Cambiar Programas*. Se debe estar al pendiente de que ocasiones es necesario hacer cambios en programas, ya sea por trabajo retrasado o por un factor de prioridad.

¹² Merli, Giorgio, "Dirección de Fabricación Total", Tecnologías de Gerencia y Producción, Madrid, 1991.

Equilibrado de las operaciones

El principio del equilibrado de las operaciones es que cada máquina o estación de trabajo en el entero proceso de producción debe operar con la misma velocidad. La velocidad está dada por dos factores: los cuellos de botella dentro del flujo de producción, bien que estos cuellos de botella sean accidentales o inherentes, y por la necesidad de producción. El tener una máquina más potente que otras no debe implicar que se tenga que utilizar ésta al máximo, ya que esto sólo generaría desequilibrio y stock, y sin duda es más dispendioso generar stocks que subutilizar maquinaria.

La programación puede cuantificar los cuellos de botella "estables" y considerarlos para hacer una planeación eficiente, sin embargo, es incapaz de ajustar la producción cuando surgen cuellos de botella imprevistamente. En estos casos una planta *JIT* no se enfrenta a grandes problemas, ya que el kanban funge como una planificación instantánea que solventa este tipo de problemas.

2.8 EL INVENTARIO EN UN AMBIENTE JIT

En un sistema *JIT* el inventario es reducido al máximo. Esta filosofía está orientada a eliminar cualquier tipo de desperdicio, y puesto que el stock es uno de los desperdicios más importantes dentro de una industria, diversas técnicas que aquí se han tratado (*kanban*, producción uno a uno, fabricación celular, nivelación de la producción, etc) , tienen como uno de sus principales objetivos reducir el stock. El inventario no sólo es un desperdicio en sí mismo, sino también es un generador de más desperdicio. Los principales desperdicios originados por el stock son:

- Control administrativo. Los almacenes requieren ser contabilizados y considerados administrativamente, lo que aumenta la carga administrativa y la documentación dentro de la empresa.
- Espacio físico y recursos humanos. El almacenamiento de stock requiere más personal para su control y mas espacio físico dentro de las instalaciones.
- Capital. El dinero invertido en inventarios no está disponible para ser usado en otras actividades de la compañía, en proyectos o en la generación de intereses.
- Deterioro y obsolescencia. Materiales almacenados durante largos periodos en ocasiones terminan por dañarse o convertirse en piezas obsoletas.
- Transporte. El manejo de stocks necesariamente necesita que se lleven a cabo operaciones de transporte.

De esta manera, en un ambiente *JIT* se trabaja con un inventario mínimo tanto en proceso como en productos terminados. Los inventarios en cada estación de procesamiento generalmente sólo deben ser suficientes para cubrir unas horas de producción, es por esta razón que todo el funcionamiento de una planta debe estar programado para funcionar perfectamente y justo a tiempo, de lo contrario, se corre el riesgo de desequilibrar fácilmente la producción y con ello no poder cumplir con las expectativas del programa. Asimismo, se recomienda implantar una política de prevención en todas las áreas del proceso, la cual debe estar enfocada a distinguir todas aquellas posibles causas de retrasos , paros o posibles defectos en la producción.

Otro riesgo derivado de tener inventarios pequeños radica en la posibilidad de perder oportunidades de ventas en los casos en que no se pueda tener una respuesta rápida. Un medio eficaz que plantea *JIT* para procurar una respuesta rápida es el uso de horas extras. Ya sea en el caso en que se tengan demandas extraordinarias o retrasos no programados en la producción, una planta *JIT* recurrirá a turnos extras para suplir la producción requerida. Esto ha motivado a que las plantas *JIT* utilicen normalmente 2 turnos con espacios de 4 horas entre cada

uno, esto con el objeto de darle paso a los turnos extras y de esta manera alcanzar la producción necesaria.

De forma general, En una planta *JIT* es importante que se consideren 5 líneas de acción en el manejo de los inventarios:

- 1 **Disminuir el tamaño de los lotes aumentando la frecuencia de las entregas.** El flujo ideal de una producción *JIT* debe ser en lotes de uno, de esta manera se mejora la calidad (trabajo uno a uno), se reducen los requerimientos de espacio y se elimina el desperdicio por inventario en proceso. Una forma eficiente de disminuir el tamaño de los lotes es aumentando la frecuencia de las entregas, lo que ayudará también a disminuir los costos por transporte. En una manufactura una a uno no se requiere más material del que se puede procesar en el instante de su llegada.
- 2 **Reducir el Inventario de seguridad.** La reducción de inventario de seguridad es una política muy importante en un sistema *JIT*. La exigencia de eliminar el desperdicio por inventario obliga a que la planta sea más eficiente y se disminuyan cualquier tipo de retrasos, ya sea por falta de calidad o errores en la producción. Además, puesto que no existen inventario de seguridad, el retraso de un operador afectará el trabajo de toda la planta, lo que necesariamente motivará a que los operadores se ayuden entre sí, creándose así un ambiente de mayor cooperación entre los operadores.
- 3 **Mejorar el manejo de inventarios.** El optimizar la logística del inventario es un principio básico para ayudar a reducir costos y agilizar la operación. En esta área puede ser útil el uso de contenedores especiales para eliminar empaques de insumos, el establecer zonas de descarga muy cercanas o dentro de la sección que va a utilizar el material, adaptar los transportes móviles a los requerimientos de las instalaciones, etc.
- 4 **Buscar proveedores confiables.** Un punto clave del *JIT* está en tener los inventarios justo a tiempo para su uso, por ello, si las entregas de los proveedores no son confiables, se pueden originar severos problemas en el equilibrio de la producción. Por la importancia del rol que juegan los proveedores en un ambiente *JIT* se estudiará a detalle este punto en una sección aparte.
- 5 **Buscar inventario Cero.** Finalmente la filosofía *JIT* tiene como ideal "cero stocks"

Indicadores de gestión del inventario

Para medir la eficacia en el manejo de los inventarios frecuentemente se hace uso de dos indicadores: el índice de rotación de stock y la razón de stock (valor financiero). El índice de rotación de stock es la razón del volumen de producción anual estimado entre el volumen medio de stock total, es decir:

$$T = \frac{\text{volumen de producción anual estimada}}{\text{volumen medio de stock total}}$$

Por su lado, la razón de stock está dada por:

$$SR = \frac{\text{valor del stock} * (\text{Inventario} + \text{WIP})}{\text{uso diario medio}}$$

3

LA CALIDAD EN JIT UN CONTROL PREVENTIVO

"Para reducir defectos dentro de las actividades de producción, el concepto fundamental es reconocer que los defectos se originan en el trabajo y que todo lo que las inspecciones pueden hacer es descubrir esos defectos. El cero defectos no puede jamás alcanzarse si se olvida este concepto", Shigeo Shingo¹³

¹³ Shingo, Shigeo, "Tecnologías para el cero defectos: Inspección en la Fuente y el Sistema Poka-Yoke", Productivity Press, Madrid, 1990.

3.1 LA IDEA DE LA CALIDAD EN JIT¹⁴

Quizás una de las ideas más audaces que defiende la filosofía *JIT* es la de considerar como un hecho real la factibilidad de producir con una calidad perfecta, es decir, tener cero errores en la producción. Rompiendo con el paradigma clásico de que la producción cero defectos es solamente un ideal, la filosofía *JIT* plantea un sistema de control de calidad y producción orientado a producir sin defecto alguno.

El punto de partida del control de calidad en *JIT* es el reconocimiento de que el control debe estar enfocado a atacar los orígenes de los defectos y no a identificarlos, por ello, el control de calidad en *JIT* es esencialmente un sistema preventivo. Es decir, mientras que el control de calidad occidental, dependiente de la estadística, se ocupa de encontrar los productos defectuosos, en *JIT* los esfuerzos están dirigidos a eliminar las causas de los defectos.

Los elementos que constituyen el control de calidad en *JIT* son:

- Feedback. Siempre que es detectado un error se debe que parar la producción y corregir el defecto.
- Inspecciones sucesivas. En *JIT* las revisiones se llevan a cabo de manera sucesiva en cada proceso de la línea de producción, es decir, antes de continuar con una nueva operación, los trabajadores se cercioran de la calidad del objeto que van a procesar.
- Inspección en la fuente. Este tipo de inspecciones tienen por objeto encontrar los errores que originan los defectos, buscando de esta manera evitar cometer los mismos errores en el futuro. Estas inspecciones se realizan en la misma fuente o en lugar del defecto.
- Técnicas *poka-yoka* (a prueba de errores). El *poka-yoke* es un conjunto de técnicas que buscan implementar mecanismos "inteligentes" dentro de los procesos, los cuales alerten al trabajador en caso de que esté cometiendo un error.
- Control visual. Es un conjunto de señales visuales que configuran un sistema de control el cual permite informar rápidamente a las diferentes personas involucradas en la producción, aspectos relacionados con el manejo de la calidad.
- Una política de mantenimiento. En ocasiones los errores en la producción no se deben al mal manejo de la maquinaria, sino a las malas condiciones en las que ésta se encuentra. Por ello, en toda fábrica *JIT* debe ser implementada una política de mantenimiento.
- Los trabajadores son responsables de la calidad. En *JIT* se genera una conciencia colectiva en la que todos los trabajadores de la empresa se responsabilizan de la calidad

¹⁴ Por la importancia del control de calidad en todo sistema de producción, en el anexo 1 de esta tesis se presenta un estudio detallado de las diferentes teorías de gestión de calidad.

de la producción. En caso de que así lo considere pertinente, un operador tiene la atribución de parar la línea de producción si considera que la calidad no es la indicada.

A parte de estos elementos básicos es importante señalar que el sistema de producción es por sí mismo un medio de eliminación de defectos. Por una parte, la producción en pequeños lotes y la reducción de stock permiten que se puedan detectar errores más fácilmente y se trabaje con mayor calidad (producción uno a uno). Además, la producción en células ayuda a crear un ambiente en que todos los operarios se responsabilizan de la fabricación de todo el producto y no solamente de una parte de él.

La filosofía de producción de una empresa *JIT* debe estar enfocada a desarrollar, fabricar y servir productos orientados a las necesidades de los clientes, procurando ofrecer los menores costos posibles.

Un producto de alta calidad y al menor costo posible es la clave competitiva de una empresa *JIT*. El producir con calidad no debe significar un aumento en el costo del producto, sino al contrario una disminución en el mismo, ya que una producción con calidad significa cero desperdicio por devoluciones y un sistema de producción más eficiente, lo que finalmente incide en una disminución de costos para la compañía, aspecto que debe ser reflejado en un menor costo de venta del producto y por ende, mayores ganancias para la compañía.

El control de calidad en *JIT* es propiamente un sistema integrador, en el que todos los elementos que participan en la producción cooperan en la obtención de una producción cero defectos, finalmente, llevar a cabo una producción justo a tiempo exige que se tenga que trabajar con la mayor precisión posible, lo que consecuentemente llevará a la obtención de una calidad perfecta.

3.2 INSPECCIONES EN LA LINEA DE PRODUCCION

Existen dos tipos básicos de inspecciones: las de evaluación y las informativas. El primer tipo de inspección consiste en hacer una revisión de la producción una vez que el producto ha sido terminado; los datos que provee esta evaluación sólo sirven para desechar aquellos productos defectuosos, por lo que esta técnica de inspección no es un medio efectivo para reducir defectos, sino sólo sirve para detectarlos. Los resultados de este tipo de inspecciones son muy pobres, ya que están orientadas solamente a buscar defectos y no a reducirlos. Aunque se han desarrollado técnicas estadísticas para hacer este tipo de evaluaciones más confiables, no son un medio en sí de control de calidad, sino sólo de supervisión.

El otro tipo de inspección es la informativa, la cual tiene por objeto recolectar información que no sólo sirva para detectar errores, sino que ayude a corregir y evitar los defectos en la producción. Esta forma de controlar la calidad es más efectiva que la primera, ya que ésta reduce los defectos mientras que la primera sólo los detecta. Aunque tanto el control de calidad occidental como el de *JIT* recurren a este tipo de inspecciones, sus aplicaciones y resultados son diferentes.

El control de calidad occidental se basa en el control estadístico de la calidad (*SQC*), el cual utiliza herramientas estadísticas para la detección de errores dentro de la línea de producción, así como para mejorar los sistemas de producción.

Aunque el *SQC* puede ser un método poderoso para la reducción de defectos, no garantiza una producción cero defectos como la que busca *JIT*. Por un lado, las revisiones basadas en el *SQC* requieren de varios días para poder dar un juicio acerca de un proceso fuera de control, por lo que durante ese período de chequeo la producción no estará libre de defectos. Además, en las revisiones *SQC* no se hacen al 100% de los productos, sino se basan en muestras aleatorias.

Aunque actualmente existen métodos matemáticos fiables para la elección de muestras, no existe garantía alguna de que se tenga una producción cero defectos, finalmente una de las limitantes más importantes del control de calidad estadístico es que en cierta medida, al igual que las inspecciones de evaluación, se lleva a cabo la revisión una vez que ya se tienen los errores en la producción.

En contraparte al control de calidad occidental, las inspecciones *JIT* están orientadas a satisfacer cuatro objetivos:

1. Buscar una inspección al 100%.
2. Identificar la causa de los defectos.
3. Ajustar el proceso en el momento que ocurre el defecto.
4. Establecer criterios objetivos de evaluación.
5. Procurar una producción cero defectos.

Método de inspecciones sucesivas

En *JIT* las revisiones se llevan a cabo de manera sucesiva en cada proceso de la línea de producción. El sistema es de la siguiente manera (Fig 3.1) : una vez que el operador 1 ha llevado a cabo su labor, le pasa el material procesado al operador 2, el cual inspecciona si el trabajo de 1 cumple con los estándares de calidad requeridos, posteriormente el operador 2 realiza su proceso encomendado para pasarle el material transformado al operador 3, el cual antes de seguir con la secuencia del proceso revisa la labor realizada por 2, y así sucesivamente.

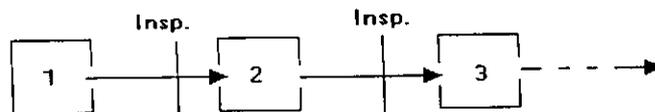


Fig. 3.1 Inspecciones Sucesivas

De esta manera cada trabajador inspecciona el trabajo realizado en el proceso anterior, de tal suerte que si se encuentra un defecto se para la línea de producción y se regresa el artículo al proceso anterior para que éste sea reparado. De esta forma se ubica el origen del defecto y con la cooperación del jefe de línea y de los otros trabajadores, el operador identifica el error en su procedimiento, evitando de esta manera errores subsecuentes.

En los casos en que el flujo de la producción no sea uno a uno, sino en lotes pequeños, se puede revisar el primero y el último artículo del lote. La última inspección en este método consiste en evaluar que la calidad del producto final sea la indicada.

Con este método se logra hacer una inspección más extensa de la producción (en algunos casos incluso del 100%), por otro lado, se le transfiere al trabajador un mayor compromiso con su

trabajo, ya que lo sensibiliza a entender que un error suyo puede parar toda la línea de producción. Esta forma de inspeccionar tiene también la bondad de que se hace una evaluación objetiva, ya que es un tercero el que hace la revisión. Con este método no solamente se reducen los defectos, sino se eliminan las causas de los mismos.

Para el buen funcionamiento de este método de inspección se deben contemplar tres aspectos:

1. Selección de aspectos a checar. Una inspección de este tipo no debe verificar demasiadas cosas, de lo contrario se pueden llegar a confusiones o se perderá mucho tiempo. Es recomendable seleccionar los puntos más importantes que deben ser verificados, o hacer listas de chequeos aleatorios.
2. Establecer criterios consensuados. En ocasiones existen puntos a revisar como colores o acabados, los cuales por ser aspectos sensoriales se requieren establecer juicios uniformes entre los trabajadores.
3. Procurar un buen liderazgo técnico. Los responsables de la línea de producción deben ser personas altamente capacitadas, ya que con ello se garantiza que tanto los chequeos como las acciones correctivas sean las mejores.

En las inspecciones sucesivas es muy importante que los chequeos se conviertan en un factor de cooperación entre todos los trabajadores, y no de juicio o calificación entre ellos.

3.3 INSPECCION EN LA FUENTE

Las inspecciones en la fuente tienen por objetivo buscar los errores que originan los defectos, para que se eviten cometer los mismos errores en el futuro. Este tipo de inspección debe ser hecha en la misma fuente o lugar del defecto. Con este tipo de revisiones lo que se busca no es reducir los defectos, sino eliminarlos a través de la prevención.

Existen dos tipos de inspecciones : las verticales y la horizontales:

Inspecciones verticales. En este tipo de inspección cuando es descubierto un defecto se procede a revisar hacia atrás el flujo del proceso, tratando de identificar la operación que está afectando la calidad del producto. Puesto que con este tipo de inspección se logran identificar las variables que están motivando la ocurrencia de los defectos, el siguiente paso es manipular estas variables o establecer mecanismos de tal manera que se garantice que el error no vuelva a ocurrir en el futuro.

Inspecciones horizontales. Esta inspección tiene por objeto identificar y controlar las variables que afectan la calidad dentro de una operación. Es decir, una vez detectados los errores que causan los defectos dentro de una operación, deben buscar los medios para la prevención de estos errores.

En ambos casos las inspecciones en *JIT* se enfocan a detectar y evitar la ocurrencia de los errores antes de que se conviertan en defectos. Sólo mediante un enfoque de este tipo se puede llegar a una calidad cero defectos, ya que propiamente no es un medio de detección de defectos, sino un método que evita la ocurrencia de los mismos. Se debe señalar que las inspecciones deben incorporarse a los procesos de trabajo, de forma que se elimine la necesidad de implementar un proceso separado de inspección.

Para poder llevar a cabo exitosamente este tipo de inspecciones en *JIT* se ha desarrollado un conjunto de técnicas llamadas poka-yoke (a prueba de errores) , las cuales tienen como fin implementar mecanismos dentro de la misma operación, los cuales evitan o previenen errores en la operación. La siguiente sección está dedicada a este tema.

3.4 PROCESOS A PRUEBA DE ERRORES (TÉCNICAS POKA-YOKE)

Aunque los chequeos sucesivos son una forma efectiva de reducir notablemente la tasa de defectos, la mejor inspección es la que se hace en el mismo instante de la producción, es decir, la autoinspección, en donde cada trabajador inspecciona el producto que realiza. Sin embargo, esta labor tienen varios inconvenientes, principalmente relacionados con la poca objetividad que tiene este tipo de revisión: un trabajador suele ser más benevolente al autoevaluar su propio trabajo. En JIT la manera de hacer autochequeos evitando estos errores de juicio es implementando mecanismos a prueba de errores llamados *poka-yoke*.

La idea principal del *poka-yoke* es la de crear procesos en los que los errores sean imposibles de realizar. Mas que un sistema en sí, el *poka-yoke* es un conjunto de técnicas que sirven para implementar mecanismos “inteligentes” dentro de los procesos, los cuales alertan al trabajador en caso de estar cometiendo errores. El tipo de errores que previenen el *poka-yoke* son aquellos que están relacionados con acciones que el operador ha olvidado. Al igual que SMED el *poka-yoke* es una técnica desarrollada por Shigeo Shingo.

Esencialmente un dispositivo *poka-yoke* es un mecanismo que ayuda a prevenir los errores antes de que sucedan, o los hace que sean muy obvios de tal forma que el trabajador se da cuenta y los corrija en el momento que han ocurrido. El concepto es simple: si no se permite que se presenten errores en la línea de producción, entonces se estará en el camino de una producción cero defectos.

Un ejemplo actual del uso de sistemas *poka-yoke* se encuentra en diversos *softwares* de Microsoft, los cuales automáticamente alertan al usuario cuando está cometiendo errores o programando acciones que pueden dañar su sistema, es decir, se están previniendo los errores antes de que éstos se conviertan en defectos o daños.

El *poka-yoke* es un sistema que ayuda a llevar a cabo una inspección del 100%, así como una retroalimentación y acción inmediata cuando ocurren los errores.

La clave para implementar el *poka-yoke* es identificar la fuente del error, ver qué lo ocasiona y buscar una solución. Una vez que se tenga la solución hay que crear un dispositivo *poka-yoke* que nos impida volver a cometer el mismo error.

Algunos sistemas de *poka-yoke* implementados en la vida cotidiana son:

1. A los automóviles con transmisión automática se les coloca un dispositivo para que no se pueda retirar la llave a menos que el carro esté en posición de Parking. Además, el conductor no puede cambiar de posición la palanca de velocidades si la llave no está en encendido.
2. Las luces de advertencia como puerta abierta, fluido de parabrisas, cajuela, etc. se colocan para advertir al conductor de posibles errores.
3. Algunas planchas se apagan automáticamente cuando no son utilizadas por unos minutos, o cuando son colocadas en su base sin haber sido apagadas antes.
4. Los apagadores de luz en los baños se encienden automáticamente. Cuando el baño ha sido desocupado por algunos minutos la luz se apaga automáticamente. Esto elimina el error de olvidar apagar la luz.

Los sistemas *poka-yoke* se pueden clasificar en reguladores y de fijación¹⁵:

Sistemas reguladores *poka-yoke*

Los sistemas reguladoras se encargan de controlar y avisar al operador de anomalías en la producción, se clasifican de la siguiente manera:

Métodos de Control. En este tipo de *poka-yoke* el objetivo es buscar mecanismos capaces de apagar las máquinas o bloquear los sistemas de operación cuando se detecta una anomalía, previniendo de esta forma que siga ocurriendo el mismo defecto.

No en todos los casos que se utilizan métodos de control es necesario apagar la máquina completamente, por ejemplo cuando se tienen defectos aislados que se pueden corregir después no es necesario apagar la maquinaria completamente, se pueden diseñar mecanismos que permitan "marcar" la pieza defectuosa para su fácil localización, para después corregirla evitando así tener que detener por completo el proceso.

Métodos de advertencia. Este tipo de método busca mecanismos que alerten al trabajador cuando esté cometiendo errores mediante la activación de una luz o sonido. Si el trabajador no se da cuenta de la señal de advertencia los defectos seguirán ocurriendo, por lo que este tipo de método tiene una función reguladora menos poderosa que los métodos de control (ver Fig. 3.2).

¹⁵ Shingo, Shigeo, "Tecnologías para el cero defectos: Inspección en la Fuente y el Sistema *Poka-Yoke*", Productivity Press, 1990.

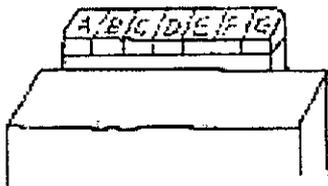
Ejemplo de Sistema de Regulación *Poka -Yoke*¹⁶

Método de Alarma

Descripción del Proceso. Veinte o más piezas se deben montar en un proceso.

Antes de la Implementación del Sistema *poka-yoke*

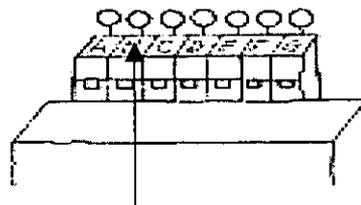
Las piezas se referenciaban alfabéticamente y se montaban en ese orden, pero era difícil para el operador recordar la pieza montada, y tendían a ocurrir omisiones.



Piezas a montar

Después de la Implementación

Se desarrolló un contenedor informativo de piezas. Cuando se coge una pieza, el movimiento de la tapa activa un conmutador fotoeléctrico que apaga una lámpara. Si cualquier luz está aún encendida cuando el operador acaba el montaje, indica la omisión de una pieza.



tubos fotoeléctricos

Fig. 3.2 *Poka-Yoke* de regulación (de control)

¹⁶ Nikkan Kogyo Shimbun, Ltd., "Poka-yoke: Mejorando la Calidad del Producto Evitando los Defectos", Productivity Press, 1991.

En cualquier situación los métodos de control son más efectivos que los métodos de advertencia, por ello, los de control deben usarse tanto como sea posible. El uso de métodos de advertencia deben ser usados cuando el impacto de los errores sea mínimo, o cuando factores técnicos o económicos hagan la implantación de un método de control una tarea extremadamente difícil o costosa.

Sistemas de fijación *poka-yoke*

Estos sistemas son aquellos que sirven para fijar funciones o actividades, se pueden clasificar de la siguiente forma:

Métodos de contacto. Son métodos en los que se busca implementar dispositivos sensitivos que detecten anomalías o defectos en el acabado de una pieza. En la figura Fig. 3.3 se ilustra un sistema de este estilo.

Métodos de valor fijo. Con este método se busca eliminar anomalías verificando el número de operaciones dentro de un proceso, es útil cuando las operaciones deben de repetirse un número predeterminado de veces.

Método de pasos de movimiento. Estos son métodos en el cual las anomalías son detectadas inspeccionando los errores en movimientos estándares donde las operaciones son realizadas con movimientos predeterminados.

En general un buen mecanismo *poka-yoke* debe tener las siguientes características :

- Ser simple y barato.
- Ser parte del proceso.
- Estar puesto cerca o en el lugar donde ocurre el error.

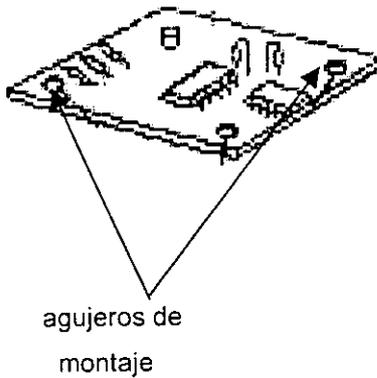
Ejemplo de Sistema de Fijación Poka -Yoke¹⁷

Método de Contacto

Descripción del Proceso. Las placas de circuitos se inspeccionan y posteriormente se ensamblan en montaje.

Antes de la Implementación del Sistema poka-yoke

En ocasiones las placas de los circuitos no podían ensamblarse en sus montajes porque no se habían taladrado en ellas los orificios de atornillado. Los trabajadores de los procesos anteriores se apoyaban en chequeos visuales para determinar si se habían taladrado los orificios.



Después de la Implementación

Se instalaron vástagos detectores en la plantilla utilizada para checar las placas de circuitos después del cableado. Las placas de circuitos sin los agujeros apropiados no pueden montarse en la plantilla. Con esto se detectan todas las placas de circuitos en las que faltan agujeros de montaje antes de que se envíen a dicho montaje.

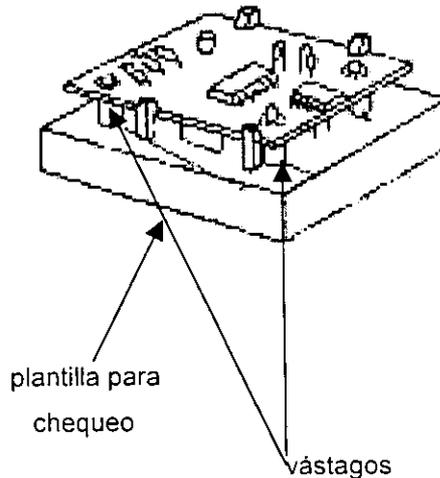


Fig. 4.3 Poka-Yoke de fijación (contacto)

¹⁷ Nikkan Kogyo Shimbun, Ltd., op. cit.

3.5 EL CONTROL VISUAL

En *JIT* el uso de señales visuales es un recurso muy importante en el control de la calidad. En una planta *JIT* se utilizan elementos visuales para avisar de errores en la producción, para indicar fallas en la maquinaria, para informar de defectos de calidad, para indicar zonas de seguridad, entre otras cosas. Las señales visuales configuran un sistema de control, el cual permite informar rápidamente de aspectos relacionados con el manejo de la calidad a las diferentes personas involucradas en la producción. En un taller *JIT* las señales visuales también sirven de apoyo para el manejo de inventarios, para la programación de la producción, para el manejo de materiales y para otros aspectos relacionados con la logística de la planta.

Las señales visuales más usadas en las plantas *JIT* son:

Andones. Como se ha explicado en este capítulo, cuando es detectado un problema de calidad los trabajadores tienen la responsabilidad de parar la línea de producción. Este tipo de acciones son dirigidas mediante el uso de señales luminosas llamadas andones. Cada sección de trabajo está equipada con un tablero de luces llamado *andon*; este tablero cuenta con luces de diferentes colores, de tal forma que cada color sirve para informar acerca del estatus de la producción en la célula de trabajo. Los andones tienen normalmente tres colores: verde, amarillo y rojo.

Color Verde: Indica que la línea está operando sin ningún problema.

Color Amarillo: Cuando algún trabajador se percata de un error o avería en la línea de producción se enciende la línea amarilla, para que los encargados de mantenimiento de esa área acudan rápidamente a solucionar el problema.

Color Rojo: Cuando un operador detecta un problema de calidad se enciende una luz roja, indicando que la línea de producción debe ser detenida para solucionar un problema.

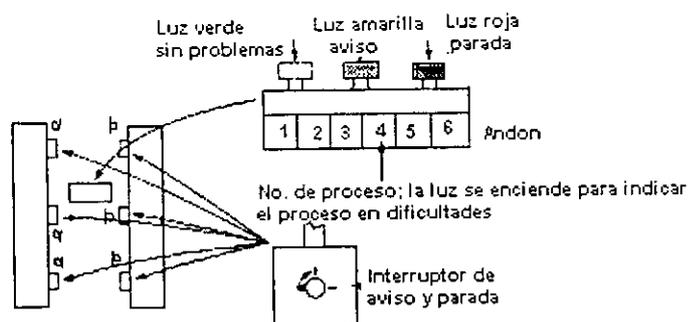


Fig. 3.4 Andon en la célula de trabajo

Hojas de operaciones estándares. Como se ha explicado en el capítulo anterior un punto importante en la optimización de procesos es la estandarización de operaciones. Para difundir tanto la ruta estándar de operaciones como los tiempos de los ciclos de fabricación, esta información es recolectada y vaciada en una hoja estándar de operaciones, la cual se coloca en lugares donde puedan ser fácilmente consultada en la línea de producción. Este tipo de hojas ayudan a controlar la operación y asegurar la calidad.

Panales indicadores de producción. Para informar acerca de la marcha de la producción se utilizan pantallas digitales que comparan el número de unidades planificadas contra el número de unidades producidas, alertando de esta forma a todos los trabajadores cuando la producción va demasiado lenta o demasiado rápida.

Otros indicadores visuales pueden ser:

- Luces de diferentes colores sobre la maquinaria que pueden indicar estatus operativos, por ejemplo, mediante ciertos colores se puede indicar que la máquina está trabajando en condiciones normales, que ha sido detenida por averías o que se está trabajando más lentamente.
- Líneas en el suelo que sirven para definir áreas de trabajo, lugar de colocación de contenedores, áreas peligrosas, etc.
- Contenedores de colores los cuales pueden indicar conjuntamente con su *Kanban*, pedidos especiales, pedidos urgentes, o también son una forma visual de llevar un control del inventario.

El uso de las señales visuales en una planta *JIT* tiene como límite la imaginación de los encargados de la línea, finalmente, para solucionar los problemas primero hay que verlos y en este sentido la comunicación visual puede ser una estrategia muy poderosa.

Las 5 S

Para poder implementar exitosamente el control visual en una planta *JIT* se debe tener una buena visibilidad en toda la planta. La organización en células de trabajo y la reducción de los inventarios al mínimo, son factores que ayudan a mejorar la visibilidad en la planta, sin embargo, una buena visibilidad también requiere de factores como limpieza, orden, simplificación de útiles, etc. Una política que engloba estos aspectos y garantiza una buena visibilidad es el establecimiento de las 5S: Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu y Shitsuke, las cuales permiten poner en orden las cosas permitiendo un buen control visual.

1. **S e i r i** (Diferenciar entre elementos necesarios e innecesarios en el lugar de trabajo y de esta forma descartar los innecesarios).

En ocasiones en el lugar de trabajo se encuentran toda clase de objetos, de los cuales sólo algunos son utilizados en el trabajo diario. Por ello, es importante establecer un tope sobre el número de artículos necesarios, y retirar todos aquellos que serán utilizados en un futuro lejano o sólo son usados ocasionalmente.

Otro método práctico consiste en retirar cualquier cosa que no se vaya a utilizar en los próximos treinta días. Todas las cosas que no tengan un uso a corto plazo y que no tengan valor intrínseco como para que permanezcan los próximos treinta días en el área de trabajo, deben ser retiradas y llevadas a bodega o reportadas como excedentes si es el caso.

2. **S e i t o n** (Poner las cosas en orden, fijar límites, estandarizar)

Las cosas deben mantenerse en orden de manera que estén listas para ser utilizadas cuando se necesiten. Cada artículo debe tener una ubicación, un nombre y una cantidad designada. Las herramientas deben colocarse al alcance de la mano y deben ser fáciles de recoger y regresar a su sitio.

3. **S e i s o** (Mantener limpias las máquinas y el área de trabajo).

Siempre se debe mantener limpio el lugar de trabajo, incluido los pisos y las paredes. Cuando es limpiada la maquinaria y el área de trabajo se pueden descubrir muchos defectos de funcionamiento y problemas de operación, lo que evita errores en el futuro. En muchas ocasiones las fallas o averías en la máquinas se originan por la presencia de partículas extrañas como polvo o rebabas de metales en el ambiente, por ello, el mantener el área de trabajo limpio también disminuye las fallas. Asimismo, un espacio agradable de trabajo ayudará a crear un mejor ambiente laboral.

4. **S e i k e t s u** (Prevenir la suciedad, mantener todo limpio).

Si una fábrica se compromete a mantener limpia siempre su área de trabajo, no se tendrán que hacer grandes trabajos de limpieza y siempre se garantizará una buena limpieza del área de trabajo. Este punto también contempla la necesidad de mantener la limpieza de los trabajadores mediante el uso de ropa adecuada, lentes, guantes y zapatos de seguridad, así como mantener un entorno de trabajo saludable y limpio.

5. *Shitsuke* (Construir autodisciplina y ética de trabajo)

Para poder practicar continuamente los 4 puntos anteriores, todas las personas deben adquirir autodisciplina y una conciencia colectiva, en la que todos son responsables del buen funcionamiento de la fábrica. Las 5's pueden considerarse como una forma de vida en el trabajo diario.

3.6 EL MANTENIMIENTO Y LA CALIDAD

Puesto que la filosofía *JIT* pone un marcado énfasis en la prevención como un medio de control de calidad, el mantenimiento de la planta juega un rol muy importante en el buen desempeño de una planta *JIT*. En ocasiones los errores en la producción no se deben al mal manejo de la maquinaria, sino a las malas condiciones en las que ésta se encuentra. Por ello, se requiere la participación de todos los operarios para procurar mantener todo el equipo en condiciones óptimas.

Los principales tipos de mantenimiento a considerar deben ser :

1. Mantenimiento preventivo. Se deben efectuar sistemáticamente inspecciones para asegurar el buen estado de la maquinaria. Un operador de una planta *JIT* debe tener como rutina diaria revisar el buen funcionamiento de la maquinaria que va a utilizar. Es recomendable que este chequeo se realice mediante una lista, en la que se incluyan los focos más frecuentes de averías.
2. Mantenimiento predictivo. Este mantenimiento intenta prevenir las averías de una forma más económica y segura que el preventivo. Se basa en el seguimiento regular de un equipo durante su funcionamiento, a fin de identificar su desgaste e identificar acciones correctivas. Lo que se busca es eliminar los cambios innecesarios o prematuros de piezas desgastadas, al igual que predecir las posibles anomalías antes de que éstas originen defectos.
3. Mantenimiento correctivo. Siempre que se presentan averías o fallas en las máquinas éstas deben ser reparadas lo más pronto posible.

Los principales beneficios derivados de una política de mantenimiento son:

- La eliminación de errores por mal funcionamiento de la maquinaria.
- Una reducción de los costos por reparación de maquinarias.
- Se extiende la vida útil de la maquinaria.
- Se incrementa la seguridad.
- Se reducen el número de paros en la producción provocados por fallas en la maquinaria.

3.7 EL CONTROL DE CALIDAD ESTADÍSTICO, UN SISTEMA DE INFORMACIÓN EN JIT¹⁸

Aunque a diferencia del control de calidad estadístico la filosofía *JIT* está enfocado a evitar los defectos más que a estudiarlos a posteriori, el uso adecuado de la estadística puede traer importantes beneficios a una fábrica *JIT*. La clave en el uso de la estadística es que ésta debe ser conceptualizada como un sistema de información y no como un medio de control en sí. Es decir, la estadística debe convertirse en una fuente de información para el manejo de la calidad.

La estadística puede ser útil en la planificación de la dirección para establecer parámetros óptimos de calidad, para llevar un récord de la calidad de la producción, para verificar si las mejoras están dando los resultados esperados y para muchos otros aspectos relacionados con la planeación y la evaluación del desempeño de la fábrica.

Existen también técnicas de estadística más avanzadas como el análisis de varianza y la regresión que nos sirven para mejorar los procesos de producción, así como para identificar las variables que interfieren más activamente en la calidad de los productos. En el anexo dos de este trabajo se presenta un estudio más detallado del uso de la estadística en el control de la calidad.

Las siete herramientas básicas usadas en el control de la calidad son: *las hojas de inspección*, que sirven para recolectar datos útiles en revisiones como puede ser la ubicación de los defectos, los productos defectuosos, la causas de los defectos más comunes, etc. *Los diagramas de flujo*, que son representaciones gráficas de un proceso que sirve como modelo de comparación entre la forma ideal de llevarlo a cabo y la realidad, buscando de esta manera hacer los ajustes necesarios. *Los histogramas*, que sirven para representar gráficamente la frecuencia de datos. *El diagrama causa efecto*, que sirve para encontrar y organizar las causas de variación en la calidad de un producto, así como para establecer las diferentes relaciones entre las causas (para esto también se usa el diagrama de relaciones). *El diagrama de Pareto*, que tiene como propósito el análisis de los datos para representar los puntos importantes y los triviales. *El diagrama de dispersión*, en el cual se grafican dos variables para determinar si existe una correlación entre éstas y finalmente *los gráficos de control*, los cuales sirven para cuantificar y establecer los parámetros de control de los outputs.

¹⁸ Para un estudio más detallado del SQC consúltese el anexo 2 de esta tesis.

3.8 LA PARTICIPACIÓN DE TODOS DENTRO DE LA GESTIÓN DE LA CALIDAD

Puesto que en una planta *JIT* el departamento de calidad es visto como un facilitador y no propiamente como el guardián de la calidad; es finalmente el área de producción la responsable de la calidad. El control de calidad es una responsabilidad que recae en todos los involucrados en el proceso de producción, por lo que cada área de producción debe garantizar una fabricación de buena calidad.

En una planta *JIT* todos deben estar comprometidos en mejorar la calidad: directivos, gerencia, operadores, etc, por ello, la directiva debe establecer una política de liderazgo que facilite la participación de todos los miembros en el control de la calidad. Los círculos de calidad es una de las formas más usadas para integrar a todos los trabajadores en el control y mejoramiento de la calidad.

Círculos de Calidad. Los círculos de calidad están conformados por un grupo compacto de trabajadores de la misma área de trabajo, los cuales de manera conjunta analizan nuevas alternativas para mejorar la calidad en sus lugares de trabajo. Con la implementación de círculos de calidad no sólo se generan estrategias de mejoramiento, sino también son un elemento en el autodesarrollo de los integrantes del grupo. La filosofía de los círculos de calidad está cimentada en cuatro puntos:

1. Contribuir al mejoramiento y desarrollo de la empresa.
2. Fomentar el respeto de las relaciones humanas y construir un espacio de trabajo agradable.
3. Ejercitar las capacidades de las personas y sacar a la luz todo su potencial.
4. Son un medio efectivo de participación y compromiso por parte de los trabajadores dentro de la empresa.

Otros medios de integración son el uso de buzones de sugerencia y la creación de comités internos de mejoramiento. La participación en el buzón de sugerencias puede ser motivada mediante recompensas a las mejores propuestas. Por su parte, los comités internos pueden ser conformados para desarrollar proyectos especiales o para resolver problemas de calidad específicos.



LAS COMPRAS JIT

UNA RELACION PRECISA CON EL EXTERIOR

"En Toyota, concebimos a la fabricación de vehículos como un proyecto comunitario. Forman parte de este equipo los individuos que venden, diseñan, prueban y fabrican nuestros vehículos, así como los que nos fabrican componentes". Gerencia de la Toyota

4.1 JIT Y EL EXTERIOR

El ciclo general de producción está dado por tres fases: la compra de materiales, la transformación de esos materiales y la venta de los materiales ya manufacturados. Por ello, la logística de un sistema de producción no puede ser concebida como un ente aislado, sino que debe visualizar tanto el proceso de compras como el de ventas.

En particular, un sistema de producción tan preciso como *JIT* requiere de una relación precisa con sus clientes y con sus proveedores, es por esto, que la filosofía *JIT* integra en su ideario un conjunto de lineamientos y políticas, las cuales coadyuvan a comprar, fabricar y entregar justo a tiempo.

Los puntos básicos a tomar en cuenta en los procesos de venta y compra son:

- En los procesos de compra y en los de venta existen desperdicios, hay que eliminarlos.
- Debe siempre procurarse una relación a largo plazo con los proveedores y con los clientes.
- Es más beneficioso tener pocos proveedores, con esto se reducen los costos (vía volúmenes), además, se simplifica la administración y se crea un ambiente de responsabilidad y confianza entre ambas partes. La relación con los clientes y con los proveedores deben siempre buscar el beneficio de ambas partes.
- Se debe procurar un ambiente de comunicación, lealtad y compromiso con los proveedores y con los clientes.
- Se debe poner énfasis en la calidad de lo que se compra y de lo que se vende.
- La compañía debe tomar el compromiso de garantizarle a cada uno de sus clientes productos libres de defectos.

En *JIT* la relación con los proveedores es un aspecto vital en el buen funcionamiento de este sistema de producción. Puesto que *JIT* motiva la contratación de muy pocos proveedores, finalmente los proveedores también tendrán pocos clientes, fomentándose con esto una relación en la que el proveedor y la compañía se convierte en entes prácticamente simbióticos, por lo que un fallo en el proveedor le puede causar problemas a la compañía y viceversa.

4.2 LAS COMPRAS JIT

El proceso de compras está normalmente invadido de desperdicios: excesiva documentación, largas inspecciones, pérdidas de tiempo en transportación, largas esperas, movimientos de personal, etc., además, si no se tiene una buena programación en las compras, éstas pueden originar dispendiosos inventarios. Estas circunstancias hacen del proceso de compras un elemento muy importante en la filosofía *JIT*.

El primer paso para hacer compras *JIT* es planear un sistema flexible de compras el cual permita dar una respuesta rápida a las demandas de los clientes sin tener la necesidad de contar con grandes inventarios. Un sistema flexible de compras se basa en la contratación de pocos proveedores, en llevar a cabo compras frecuentes en pequeños lotes y en hacer un replanteamiento de la relación cliente – proveedor.

Reducción en el número de proveedores. En los sistemas tradicionales de producción se tienen normalmente negociaciones con muchos proveedores. Este tipo de políticas se apoyan en la idea de que el tratar con muchos clientes puede ayudar a obtener mejores precios y que además, de esta forma se cubre el riesgo de que alguno de los proveedores no pueden cumplir con sus compromisos. En oposición a ese tipo de visión, la filosofía *JIT* considera que el tratar con pocos proveedores le trae más beneficios a la empresa:

- Los costos pueden ser reducidos vía volumen de compras.
- El proveedor adquiere un mayor compromiso con su cliente, ya que está conciente de la fuerte interdependencia que existe entre ambos: si a uno le va mal al otro también.
- Al reducir el número de proveedores también se eliminan desperdicios en documentación, facturación, negociaciones, etc.
- Al obtener pedidos más grandes, el proveedor reduce sus costos de mercadotecnia, de producción, de transporte, etc., motivando de esta forma una obtención de mejores precios.

El ideal en una planta *JIT* es que se tenga solamente un proveedor para cada categoría de materias necesarias. Sin embargo, en ocasiones este es un punto muy difícil de lograr, por lo que la meta debe ser el número de proveedores mínimos que se puedan tener. Asimismo, es importante que se establezcan planes de contingencia para los casos en que un suplidor no pueda cumplir con su compromiso.

Entregas frecuentes en pequeños lotes. A diferencia de los sistemas tradicionales en los que se hacen compras espaciadas en lotes grandes, en *JIT* se procuran negociar compras en pequeños lotes con entregas frecuentes, reduciéndose de esta manera el inventario. Una vez que solamente se va adquiriendo el material necesario para un período corto de producción, el stock tiende a mantenerse en niveles muy bajos.

Las entregas justo a tiempo no sólo ayudan a disminuir el inventario, sino son pieza fundamental en la flexibilidad de la producción. Las compras en pequeños lotes son esenciales para satisfacer una demanda muy variada, al igual que ayudan a reducir el ciclo de producción. En algunas plantas *JIT* como la Toyota (Nagoya) y la General Motors (Complejo Silao) se reciben materiales incluso cada hora, logrando de esta manera una producción justo a tiempo sin la necesidad de stock alguno.

Para poder llevar a cabo este tipo de compras (pequeños lotes en entregas frecuentes) es importante que los suplidores estén localizados cerca de sus clientes y que además tengan también implementado el sistema justo a tiempo. Puesto que no es fácil encontrar empresas que cumplan con ambos requisitos, la compañía debe planear una programación que le permita acercarse a este modelo de compras.

Una nueva forma de establecer la relación proveedor – cliente. Como ya se ha explicado anteriormente, en un sistema *JIT* se crea una fuerte interdependencia entre los clientes y los proveedores, por ello, la filosofía *JIT* propone una nueva forma de construir esta relación. Los pilares en los que se debe apoyar esta relación son:

- Fomentar una relación a largo plazo. Puesto que el éxito de una empresa no es una meta a corto plazo, las relaciones deben fundamentarse en un compromiso a largo plazo, este factor ayuda a darle más estabilidad y compromiso a la relación.
- Establecer una relación de mutuo beneficio. El tipo de relación que se debe buscar es la de ganar – ganar, en donde el éxito del cliente debe significar también un beneficio para el suplidor. Esta relación debe ser justa y equilibrada para ambas partes.
- Mejorar las vías de comunicación. No se pueden esperar las mejores compras si el cliente no se cerciora de comunicarle a su suplidor lo que requiere específicamente. Asimismo, las vías de comunicación rápidas y efectivas son muy importantes cuando se presenta algún problema.
- Certificación de clientes. Las inspecciones representan un desperdicio de tiempo y capital humano muy importante, por esto, es muy beneficioso establecer normas de certificación a los suplidores, de tal manera que las inspecciones de aceptación sean

reducidas o eliminadas. Este punto es muy importante ya que también debe servir como un filtro de calidad: no se puede esperar una producción perfecta, sino se consiguen las mejores materias primas. Los proveedores y clientes son ambos responsables de aplicar el control de calidad con conocimiento mutuo y cooperación en la obtención de la mejor calidad.

- Motivar la colaboración. En una relación a largo plazo y de mutuo beneficio la colaboración juega un papel muy importante. El organizar programas de capacitación o diseñar productos en forma conjunta pueden ser algunas de las acciones de colaboración que pueden ser llevadas a cabo. Una relación proveedor - cliente sólo deberá ser cancelada en caso de incumplimiento de alguna de las partes.
- Tener un marco contractual claro. Proveedor y cliente deben estipular un contrato preciso sobre la calidad, cantidades, precios, términos de entregas y métodos de pago.
- Procurar un alto sentido de compromiso y lealtad. La relación entre los clientes y los proveedores debe estar marcada por una ética de lealtad y de compromiso.

Selección de proveedores

Los proveedores ideales son aquellos que también tienen implementado un sistema *JIT*, sin embargo, esto no es siempre factible, por ello es importante establecer un sistema de elección de proveedores. La selección de los proveedores debe representar una toma de decisiones multicriterio: el precio no debe ser el único parámetro a considerar, sino el último, ya que primero se deben que asegurar aspectos de calidad, confiabilidad, capacidad de entrega, etc. Los criterios más importantes a considerar son:

- Calidad. El primer punto a calificar en una compra debe ser la calidad del producto, así como el control de calidad aplicado en la compañía proveedora.
- Localización geográfica. Proveedores más cercanos geográficamente pueden facilitar entregas más frecuentes.
- Capacidad Técnica. En relación a las condiciones técnicas es vital calificar aspectos como la capacidad de proceso, la elasticidad de su sistema de producción y el nivel de tecnología.
- Confiabilidad de las entregas. Es importante cerciorarse de la capacidad y confiabilidad que tenga el proveedor para llevar a cabo sus entregas.
- Precio. El precio no debe ser el criterio con mayor peso, sino debe ser considerado una vez que se hayan evaluado todos los demás aspectos, además, hay que recordar la visión de *JIT* en el sentido de que una empresa de alto nivel va a tener también los precios más competitivos.

4.3 ELIMINACIÓN DE DESPERDICIOS EN LAS COMPRAS

Las compras como tal son un proceso que no agrega valor al producto, por lo que se deben estar buscando continuamente acciones dirigidas a eliminar todos los desperdicios surgidos en este proceso; una buena cooperación entre el cliente y el proveedor es muy beneficiosa en la eliminación de desperdicios. Se pueden encontrar desperdicios en la elaboración de trámites, en el transporte, en el uso de empaques, etc. Algunas de las políticas que pueden ser tomadas en cuenta son:

- Eliminación de documentos de transmisión (sólo etiquetas de identificación).
- Simplificación de los trámites.
- Eliminación de empaques, se pueden usar contenedores reciclables.
- Transacciones en tiempo real.
- Un sistema compartido y comprensivo de planificación y programación.
- Facturación automática.
- De ser posible los proveedores pueden compartir sus sistemas de transporte, para que estableciendo rutas estándares un mismo camión pueda transportar la mercancía de diferentes proveedores.

El espíritu de las compras *JIT* puede ser sintetizado en el siguiente cuadro:

Actividad	<i>JIT</i>
Tamaño de compras	Pequeños lotes Entregas frecuentes
Proveedores	Largo plazo Relación ganar-ganar Pocos proveedores
Inspección	Inicialmente reducida Con el paso del tiempo se debe eliminar
Negociaciones	Largo plazo
Trámites	Simplificación de trámites
Empaques	Pequeños, estandarizados con uso de contenedores.



LA DIRECCIÓN JIT

EL RESPETO POR LO HUMANO

"En Toyota, el respeto por la dimensión humana consiste en dirigir la energía humana hacia las operaciones con sentido y efectivas, eliminando las operaciones inútiles. Si un trabajador siente que su trabajo es importante y tiene sentido, su moral subirá; si ve que su tiempo se derrocha en tareas insignificantes, su moral sufrirá tanto como su trabajo". Yasuhiro Monden¹⁹

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

¹⁹ Monden, Yasuhiro, Op.Cit.

5.1 EL ASPECTO HUMANO EN JIT

Todo sistema de producción es operado por seres humanos, de facto, el éxito de una empresa es finalmente soportado por la labor humana. Para que una empresa alcance los niveles de perfección que exige un sistema como *JIT*, se requiere una decidida participación de que cada uno de los individuos involucrados en la producción. La filosofía *JIT* plantea un nueva forma de dimensionar el vínculo entre los recursos humanos y el proceso de producción. Esta nueva visión involucra tres interacciones básicas:

1. Recursos humanos – Sistema de manufactura. *JIT* es un sistema de fabricación que motiva un mayor respeto por la condición humana: eliminación de movimientos inútiles, mayor seguridad, mayor participación en la línea de producción, etc.
2. Recursos humanos – Gerencia. La gerencia en una empresa *JIT* debe ser responsable de crear un ambiente en el que todos los empleados SE sientan que son tratados con dignidad y respeto.
3. Ser humano – Empresa *JIT*. Una empresa *JIT* debe tener valores y compromisos para con el lado humano de los empleados, de la misma manera que los empleados deben tener una corresponsabilidad de lealtad y compromiso para con su empresa. De esta forma se crea una ética laboral. Muchos de los cuestionamientos que se le ha hecho al sistema *JIT* se basan en la idea de que éste es un sistema de producción regionalista, ya que está pensado para funcionar en una cultura oriental, pero esto no es correcto, ya que la diferencia no la marca la cultura ética del país, sino la que la empresa y sus empleados practican.

5.2 LOS RECURSOS HUMANOS Y LA MANUFACTURA JIT

La producción *JIT* como tal, propone un sistema de manufactura intrínsecamente comprometido con el respeto a la dimensión humana. Este respeto puede ser visualizado a través de tres aristas: la optimización de los procesos de fabricación, la participación proactiva de los trabajadores, y el mejoramiento de las condiciones de trabajo.

El proceso de fabricación y el respeto por lo humano. La manufactura *JIT* es un sistema de producción que por sí mismo motiva el respeto por la dimensión humana: en *JIT* se procuran disminuir tiempos fastidiosos de espera, se eliminan movimientos inútiles en el trabajo, se evitan trabajos rutinarios por medio de la rotación de trabajadores, se implementan mecanismos *poka-yoke* que previenen y ayudan a los operadores en errores en trabajos engorrosos, etc. En general, en *JIT* se tiene un sistema de manufactura más simple, optimizando con ello la labor y las capacidades de los trabajadores.

La participación proactiva de los trabajadores. En una empresa *JIT* los trabajadores juegan un rol proactivo en sus área de trabajo. A diferencia de otros sistemas de producción, en *JIT* los operadores tienen la autoridad de parar la línea de producción cuando detectan problemas de calidad, aumentando con ello la participación y la responsabilidad de los trabajadores. Asimismo, los jefes de los talleres y los responsables de las líneas de producción colaboran en la programación diaria (vía *kanban*).

Por otra parte, a través de los círculos de calidad y los buzones de sugerencias se motiva la participación de los trabajadores en el mejoramiento de los procesos de producción, así como en las condiciones generales del trabajo. Una buena empresa *JIT* debe asegurarse de tener vías de comunicación atentas a las sugerencias y opiniones de sus empleados.

Buenas condiciones de trabajo. El sistema de producción *JIT* garantiza un mejor entorno de trabajo: la maquinaria y el equipo se mantienen en buenas condiciones, las instalaciones se encuentran limpias y en orden, se aumentan las medidas de seguridad y se evitan todas aquellas actividades no aptas o riesgosas para los operadores. Una empresa *JIT* debe estar siempre atenta de mantener un buen ambiente de trabajo.

5.3 LA GERENCIA Y LOS RECURSOS HUMANOS.

En la filosofía *JIT* la gerencia juega un papel de facilitador más que de mando. Puesto que parte importante del control es transferido a los operadores, los esfuerzos de la gerencia deben estar orientados fundamentalmente a vigilar y facilitar el sistema de producción. Asimismo, la gerencia debe crear un ambiente favorable a la participación de los operadores en la toma de decisiones, y en la generación de alternativas de mejoramiento.

Algunas de las acciones que se pueden llevar a cabo para originar un ambiente proactivo entre los trabajadores son:

- Organizar círculos de calidad en los que se promueva la participación de todos los trabajadores.
- Poner buzones de sugerencias y premiar las mejores propuestas.
- Organizar grupos de trabajo para proyectos especiales.
- Establecer canales de información para que todos los trabajadores se sientan bien informados acerca de la situación de la empresa.

En *JIT* se plantea una nueva relación entre la gerencia y los trabajadores; esta nueva relación debe basarse en las siguientes premisas.

- Los trabajadores son los recursos más valiosos que tiene la compañía.
- Los trabajadores son seres humanos inteligentes.
- La gente trabaja mejor cuando se les trata con respeto y con dignidad.
- El ser humano tiene la necesidad de sentirse reconocido.
- Un trabajador es más eficiente cuando es bien capacitado y se siente seguro en su trabajo.
- Para los seres humanos es muy importante sentirse útiles y valiosos.

La gerencia y los operadores deben formar un equipo de trabajo en el que cada uno de los miembros debe sentirse útil y reconocido; la combinación de talentos deberá ser la política de trabajo, ya que finalmente el éxito o fracaso será grupal y no individual.

5.4 EL SER HUMANO Y UNA EMPRESA JIT

Una empresa que quiera alcanzar la excelencia *JIT* debe tener una auténtica responsabilidad y lealtad para con sus empleados. Recíprocamente, cada uno de los trabajadores debe tener un gran compromiso y lealtad para con su empresa. Esta corresponsabilidad es el fundamento ético del comportamiento de una empresa *JIT* y sus empleados.

Esta ética laboral parte de la idea de que si a la empresa le va bien, entonces a los trabajadores también les irá bien, y viceversa, si los trabajadores tienen un buen desempeño, entonces a la empresa le irá bien, es tácitamente un acuerdo ganar – ganar, con la variante que se le agrega un alto sentido de lealtad a la relación empleados - empresa.

Una empresa debe tener bien definida sus metas, sus valores y sus credos, los cuales deben también ser compartidos por los trabajadores, ya que si ambas partes comparten las mismas metas, será más fácil que se logre el éxito.

El plantear toda una nueva ética laboral como lo requiere *JIT* obliga a las empresas a realizar importantes esfuerzos para establecer todas las condiciones y garantías para que sus trabajadores sientan un auténtico compromiso para con su empresa. Quizás la acción más importante que puede hacerse al respecto es brindarle a los trabajadores un empleo seguro y digno, en el que puedan desarrollarse y sentirse útiles.

5.5 LA PUESTA EN MARCHA

“Los más estupendos planes de mejoramiento en el mundo no serán efectivos, si éstos no son puestos en práctica. Frecuentemente en esta etapa la resistencia de los hábitos le impedirá a los trabajadores implementar los planes de mejoramiento. Desde luego que tales planes no podrán ser llevados a cabo totalmente, si no se obtiene el consentimiento a través de la comprensión, y si no se mantienen tenaces esfuerzos”, Shigeo Shingo²⁰

La filosofía *JIT* propone una nueva visión del mundo, visualiza una nueva forma de ver la fabricación, la gerencia, los recursos humanos y la relación con el exterior (clientes y proveedores), por ello, el cambio radical que exige la implementación de *JIT*, no es un cambio de procedimientos, sino un cambio de actitudes y paradigmas. Esto hace de la implementación un proceso gradual y complejo, en el que la educación, el compromiso y el mejoramiento continuo son las claves de una puesta en marcha exitosa. La adopción de una filosofía *JIT* debe ser vista como una acción estratégica de mejoramiento, y no como una vía para solucionar problemas.

La implementación del *JIT* es un proceso delicado, ya que si no se toman las precauciones necesarias se pueden causar severos problemas. El reducir rápidamente los inventarios de seguridad puede causar un desastre, si no se ha trabajado ya con el mejoramiento del sistema de producción. Además, es muy importante cerciorarse que la filosofía *JIT* ha sido ampliamente diseminada en toda la empresa, de lo contrario, la falta de información puede generar confusiones y problemas. Convertir una empresa a la filosofía *JIT* requiere de un proceso gradual y ordenado, debe ser visto como un proyecto a largo plazo. Una guía útil para una buena implementación está dada por los siguientes 10 pasos estratégicos:

1. Comprensión del *JIT*.
2. Estudio de la empresa: estado actual e ideal.
3. Establecer equipo de trabajo.
4. Programa de Educación.
5. Establecer un programa piloto.
6. Poner en marcha el programa piloto.
7. Extensión del programa piloto.
8. Ajuste y Control.
9. El giro hacia el exterior.
10. Mejoramiento Continuo, el camino a la perfección.

²⁰Shingo, Shigeo, "The Sayings of Shigeo Shingo, Key Strategies for Plant Improvement", Productivity Press, Cambridge, 1987.

PRIMER PASO

COMPRENSIÓN DE JIT

Una vez que se han seleccionado a los responsables del proyecto de implementación, estos nuevos líderes deberán recibir una capacitación de la filosofía *JIT*. La capacitación debe ser detallada y debe comprender todos los aspectos relacionados al *JIT*. Es útil que los líderes no sólo reciban seminarios por parte de expertos, sino que también puedan realizar visitas a empresas que funcionen en un ambiente *JIT*.

Esta es una fase primordial, ya que también le ayudará a los líderes a identificar las oportunidades y alcances del sistema *JIT* en su empresa. Es importante que los líderes del proyecto sean personas con una excelente capacidad receptora, y que además sean respetados dentro de sus áreas. De la eficacia de estos pioneros dependerá en gran parte el éxito de la implementación.

SEGUNDO PASO

ESTUDIO DE LA EMPRESA: ESTADO ACTUAL E IDEAL.

Una vez que se haya comprendido detalladamente lo que es la filosofía *JIT*, se debe proceder a realizar un estudio preciso acerca de la situación actual de la empresa: su operación, sus ciclos de fabricación, sus procesos de manufactura, su layout, la capacitación de sus recursos humanos, su localización geográfica, su red de proveedores, sus clientes, etc. Este estudio debe arrojar una radiografía de toda la empresa, de tal manera que se pueda dar un diagnóstico detallado de la empresa. Es útil que este diagnóstico incluya un estudio de las fortalezas y debilidades de la empresa. A partir de este diagnóstico se podrán conocer las auténticas posibilidades y alcances de la implementación del *JIT*.

Ya que se ha hecho el estudio de la situación actual de la empresa se debe diseñar un sistema *JIT* ideal para la empresa. Aunque este arquetipo de empresa es un ideal, es importante que contemple las restricciones derivadas de las condiciones propias de la empresa.

Este modelo o planteamiento ideal servirá de punto de referencia para dirigir las acciones y los esfuerzos de la compañía. Una labor muy útil al respecto consiste en realizar un modelo del funcionamiento actual de la compañía y compararlo con el modelo ideal, para que de esta manera se puedan identificar de una manera más clara el rumbo de la implementación.

Este trabajo debe involucrar a los líderes del proyecto *JIT* y a miembros de diferentes áreas. En esta etapa la participación de un consultor externo puede servir para identificar aspectos que probablemente los miembros de la empresa no sean capaces de detectarlos.

TERCER PASO

ESTABLECER EL EQUIPO DE TRABAJO

El tercer paso consiste en la creación de equipos de trabajo. Un equipo dinámico y de buen nivel es esencial para realizar una aplicación exitosa. Es recomendable que los equipos de trabajo sean compactos (de 5 a 10 personas) dependiendo de la carga de trabajo. Se deben conformar equipos especiales para las áreas fundamentales:

- Trabajo de planta
- Calidad
- Planificación
- Logística
- Compras
- Ventas
- Administración

El número de equipos dependerá del tamaño y tipo de la empresa. Cada grupo debe estar conformado tanto por operativos como gente de mando, es recomendable que los miembros sean ya trabajadores experimentados, pero no muy grandes de edad. Para facilitar la organización debe nombrarse un coordinador responsable de cada equipo.

CUARTO PASO

PROGRAMA DE EDUCACIÓN

Un programa de educación y entrenamiento es vital para la buena aplicación de *JIT*. En esta capacitación se deben remarcar los beneficios y ventajas de *JIT*. Este programa debe ser extendido a todos los niveles: desde altos mandos hasta operativos.

La educación debe consistir en dos partes: la primera parte debe estar dirigida a informar acerca del sistema *JIT*: sus principios, sus beneficios, su impacto, etc. La capacitación debe ser impartida por gente experta y capaz de motivar a todos los involucrados; estos cursos pueden ser organizados en seminarios orientados a los diferentes niveles: alta dirección, dirección media, gerencia, operativos, etc.

La segunda parte de la capacitación debe ser un entrenamiento específico para cada área: manufactura, calidad, administración, compras, etc. Estos cursos deben ser detallados y deben dar una amplia visión de cada función en el nuevo esquema de la empresa.

La educación es la base de la aceptación y la motivación y por ende del éxito de la implementación. El proyecto *JIT* debe ser visto como un proyecto donde todos los trabajadores tienen que participar y comprometerse con la empresa.

QUINTO PASO

ESTABLECER UN PROGRAMA PILOTO

Como se dijo anteriormente, intentar poner en marcha todo el sistema *JIT* en un sólo paso puede ser bastante caótico y complicado. Es recomendable diseñar un programa piloto dentro de la empresa para empezar a trabajar. Este programa piloto podría ser: tomar una sección de la planta y convertirla a un sistema *JIT*. En general, se puede escoger un área de la producción la cual pueda aislarse de alguna forma; los programas pilotos en líneas finales de montaje o en áreas que suministran líneas finales son los programas más factibles.

El proyecto debe ser escogido cuidadosamente, debe ser un programa sencillo y nunca debe ser utilizado para solucionar problemas. Es muy importante que este proyecto sea exitoso y muestre los beneficios de *JIT*, ya que este será un factor motivacional muy importante. En ocasiones puede ser viable seleccionar más de un plan piloto.

SEXTO PASO

PONER EN MARCHA EL PROGRAMA PILOTO

Una vez que ha sido seleccionado el programa piloto, éste debe ser puesto en marcha, es importante visualizar al programa piloto como un laboratorio de pruebas, en el que se podrá aprender y corregir errores. Los avances del programa piloto deben ser difundidos en toda la empresa ya que esto servirá de motivación.

Junto al programa piloto se pueden llevar a cabo de manera independiente diversas acciones encaminadas a la adopción del *JIT*; como los son el manejo de la 5S (orden, limpieza, disciplina, etc.), la eliminación de todos aquellos desperdicios visibles, la estandarización de actividades, la reducción de tiempos de alistamiento, el entrenamiento polivalente a los trabajadores, etc.

SÉPTIMO PASO

EXTENSIÓN DEL PROGRAMA

Cuando el programa piloto ha empezado a funcionar correctamente es tiempo de extender la reconversión a toda la empresa, esto deberá ser un proceso gradual y es recomendable que sea llevado a cabo mediante proyectos y nunca de manera instantánea. En esta etapa se tendrán que hacer adecuaciones a las instalaciones físicas, a los sistemas de transporte, al layout del taller, etc.

La manufactura y organización empezará a cambiar de rostro, y también se tendrán que ir modificando los sistemas de control de calidad, el manejo de los inventarios, los controles de producción, etc. En la medida que se perfeccione el sistema y el stock se reduzca, el control visual empezará a jugar un papel más importante.

OCTAVO PASO

AJUSTE

Una vez que ya se tenga una manufactura *JIT*, el siguiente paso será la implementación de ajustes y nuevos controles; probablemente se tendrá que trabajar en cuellos de botella, áreas que todavía no se ajustan bien en el nuevo sistema, y en las secciones que por su dificultad se tuvieron que dejar al final.

NOVENO PASO

EL GIRO HACIA EL EXTERIOR

Una vez que la planta ya esté trabajando de manera óptima en un ambiente *JIT*, se debe empezar a construir una nueva relación con los proveedores y con los clientes. La acción estratégica más importante es reducir el número de proveedores, no obstante, esto puede ser muy riesgoso si no se hace adecuadamente; es importante establecer periodos en los que se pongan a prueba los diferentes proveedores, para que de esta manera se seleccionen aquellos que puedan cumplir con los requerimientos de la empresa. En ocasiones el tener proveedores únicos no es factible, sin embargo, es importante reducirlos lo más posible. Aunque en ocasiones no siempre es factible, lo ideal es ayudar a los proveedores a que implementen también un sistema *JIT* en sus plantas.

Puesto que la manufactura *JIT* va a flexibilizar la capacidad de fabricación, la empresa estará en mejores condiciones competitivas para ofrecer un mejor servicio a sus clientes. Asimismo, el

mejoramiento de la calidad y la eliminación de costes improductivos le van a permitir ofertar precios más competitivos. El output de la fábrica tendrá que reflejar la excelencia del sistema *JIT*.

DÉCIMO PASO

MEJORAMIENTO CONTINUO, EL CAMINO A LA PERFECCIÓN

Poner en marcha el proyecto es solamente el inicio de la implementación total de *JIT*, la empresa debe suscribir un compromiso de mejoramiento continuo; se puede afirmar que no existen límites para las mejoras, siempre se deberán que estar buscando formas de eliminar cualquier tipo de desperdicio,

Las mejoras dependerán de la inventiva y de la imaginación de todos los involucrados en la empresa. Finalmente *JIT* es una filosofía que propone una vía a la perfección en la producción, por lo que el camino de una implantación *JIT* será siempre un proceso infinito con un sólo ideal: la perfección total.

5.6 RECOMENDACIONES PARA LA PUESTA EN MARCHA

Algunas recomendaciones útiles para una implementación exitosa son:

- Tener un buen liderazgo de parte de los responsables del proyecto.
- Se debe asegurar el apoyo de altos directivos en el proyecto *JIT*.
- Los recursos humanos es la base del cambio, por ello, se debe trabajar fuertemente para obtener el apoyo de todos los trabajadores. La educación es la puerta de la aceptación.
- Es recomendable que se tomen registros de desempeño antes de empezar la puesta en marcha, para que se lleven a cabo, posteriormente, comparaciones.
- Es útil que en el proceso de implementación participen consultores externos, ya que pueden ser capaces de percibir cosas que la gente que está dentro es incapaz de verlas.
- El plazo de implantación no deberá ser ni muy corto ni demasiado largo. Si es demasiado largo se corre el riesgo de perder el entusiasmo, mientras que si es muy corto se pueden crear falsas acciones. El tiempo varía de la empresa.
- El adoptar una filosofía *JIT* no es un proceso fácil, es un proyecto que requiere un decidido trabajo de parte de todos los miembros de la empresa.

Ya sea por sus circunstancias geográficas, operativas o por sus condiciones especiales, diversas empresas están incapacitadas para adoptar una filosofía *JIT*, sin embargo, el uso aislado de técnicas como *SMED*, *poka-yoke*, *inspecciones sucesivas*, *feedback*, etc, pueden ser útiles para resolver problemas de calidad o manufactura y además pueden representar un buen punto de partida para que en un futuro se pueda llevar cabo una reconversión total.

6 ESTUDIOS DE CASO GM COMPLEJO SILAO

"Nuestro trabajo está centrado en apoyar solamente a aquellas áreas que le agreguen valor al producto, buscando la reducción de los desperdicios a través de la disminución del inventario y de entregas justo a tiempo", Gerencia de la General Motors Complejo Silao

6.1 EL *JIT* EN MÉXICO, GENERAL MOTORS COMPLEJO SILAO

Cuando el Justo a Tiempo empezó a conocerse en occidente, se creía que el implantarlo sería una labor muy complicada, sin embargo, en la medida en que se fue comprendiendo más a fondo el *JIT*, y se descubrió las importantes ventajas que ofrecía, los países de occidente lo fueron adaptando a sus propias condiciones geográficas, culturales, administrativas, etc, motivando de esta manera una importante penetración del *JIT* en occidente.

En el caso de los países en desarrollo, la posibilidad de adoptar el *JIT* era poco favorable. A primera instancia el *JIT* parecía un sistema propio de países avanzados: se requería excelentes estándares de calidad, vías de comunicación rápidas y eficientes, proveedores confiables, trabajadores competitivos, etc. No obstante este "oscuro panorama" y a través del impulso de algunas transnacionales, el *JIT* empezó a emigrar a países en desarrollo, logrando excelentes resultados y mostrando que el *JIT* puede ser también una importante estrategia competitiva para países en desarrollo.

En particular, en México diversas empresas han adoptado exitosamente el *JIT*, entre las más destacadas se pueden mencionar General Motors de México, Xerox y Volkswagen. Además, la puesta en práctica del *JIT* en grandes empresas ha dado lugar a que algunos de sus proveedores también adopten el sistema *JIT*, haciendo del Justo a Tiempo una práctica real en México.

1 Objetivo del estudio de Caso

Un excelente caso de la efectividad de la implementación del *JIT* en México lo muestra la armadora General Motors; la cual ha adoptado una filosofía de trabajo *JIT* en todas sus plantas. Para hacer un estudio más detallado del alcance y las posibilidades del *JIT* en México, se llevo a cabo un estudio de campo en una de las plantas de GM. Esencialmente el trabajo se enfocó a estudiar la filosofía de la empresa, el sistema de producción, el control de calidad, la relación con los proveedores y la dirección y manejo de los recursos humanos.

2 Metodología

Para cumplir con tales objetivos se visitó la planta y se realizaron diversas entrevistas con administrativos, trabajadores de línea y empleados de empresas suplidoras de GM.

3 Antecedentes

La General Motors complejo Silao produce vans y camionetas de lujo dirigidas principalmente al mercado internacional, en sus línea se ensambla la Chevrolet Tahoe, GMC Yukon, Avalanche, Aztek, y la Suburban. La planta de GM está ubicada prácticamente en el centro del país, en la zona del bajo; su localización geográfica le permite acceso a un aeropuerto internacional, una red ferroviaria que la conecta con los Estados Unidos (país a donde se dirige la mayor parte de su producción), y un acceso privilegiado a la red de autopistas y carreteras del país.

4 Filosofía de la Empresa

GM tiene como principio lograr un liderazgo mundial en productos de transportación, a través de la mejora continua, la integridad, el trabajo en equipo y la innovación en sus productos. Los puntos clave en el trabajo de GM son:

- Actuar en común.
- Pensar en forma esbelta y rápida.
- Creer en todos los sectores del negocio.
- Competir a nivel global.

Puesto que la planta GM ha adoptado una filosofía *JIT*, su trabajo está centrado en apoyar solamente a aquellas áreas que le agreguen valor al producto, buscando la reducción de los desperdicios a través de la disminución del inventario y de entregas justo a tiempo.

VISION DE GM

Ser líder mundial en productos de transportación. Nos ganamos el entusiasmo de nuestros clientes y accionistas a través de la mejora continua, lograda por la integridad, el trabajo en equipo y la innovación de nuestra producción, a través de la gente GM.

MISIÓN DE GM

Nuestra misión es armar autos por lo que las otras áreas son sólo de soporte, de esta forma el objetivo es apoyar sólo aquellas partes que le agreguen valor al producto.

5 El Sistema de producción en GM

GM lleva un sistema de arrastre en su línea de producción, por lo que el ensamble de autos es uno a uno. El proceso de fabricación está dividido en tres secciones de trabajo: ensamble (que incluye carrocería, pintura y ensamble general), estampado y motores. Cada célula de trabajo está constituida a su vez por estaciones de trabajo, en las que se llevan a cabo los diferentes subprocesos.

Cada estación de trabajo puede ser fácilmente detectada ya que existen letreros que cuelgan del techo, en los que se indica tanto el código de la sección como la estación de trabajo, por ejemplo, si una estación tiene un letrero con la clave M23, significa que esa área es la estación número 23 de motores.

Para controlar la producción uno a uno se utilizan dos sistemas: el *kanban* y la producción secuenciada. El primero es un sistema *kanban* clásico asistido por computadora llamado EPS (*Electronic Pull System*), y el segundo es un sistema de programación de entrada de suministros a la línea de ensamble.

Funcionamiento general del Kanban. En cada estación de trabajo se manejan tres tipos de *kanban*: el de entrada, el de salida y el de emergencia. La logística del *kanban* es la siguiente: cuando una estación de trabajo requiere más material acciona un interruptor, el cual le indica a una terminal computarizada una solicitud de material, esta terminal (ubicada en el almacén), envía el material requerido a la estación con un *kanban* de entrada, de tal forma que una vez que se ha surtido el pedido, el carro suplidor regresa al almacén con el *kanban* de salida, para confirmarle a la central que el material ha sido entregado.

Los pedidos y entregas de material son registrados electrónicamente mediante un lector de barras, el cual lee las instrucciones en los códigos impresos en los *kanbans*, enviando automáticamente la información a la unidad central, la cual se encuentra ubicada en el almacén.

Producción Secuenciada. La producción secuenciada por su parte, es un sistema asistido por computadora que ayuda a controlar el tipo, número y tiempo específico en el que se requiere cada subensamble en la línea de producción. Por ejemplo, si en la línea se están ensamblando tres modelos diferentes de autos, se requiere programar el tipo y número de asientos, molduras, accesorios, motores, etc. que deben ser usados para cada modelo de auto.

Con la producción secuenciada se programa la entrada de cada material en la línea de ensamble, de tal suerte que el material requerido llega justo en el tiempo, lugar, tipo y cantidad requerida. Fundamentalmente con este sistema se evitan sobre producciones, tiempos muertos y paros por falta de material. Otra bondad de la producción secuenciada es que permite tener un conocimiento exacto el "*timing* de la producción".

El secuenciado es apoyado con un sistema de etiquetas, las cuales son pegadas en las carrocerías de cada auto; en estas etiquetas los trabajadores pueden leer todas las especificaciones de cada unidad: tipo de vestidura, equipamiento, tipo de afacias, etc.

Otro indicador visual utilizado en el secuenciado es el uso de etiquetas de colores, las cuales son usadas para identificar el color o tipo de algunos suministros, lo que hace más ágil el trabajo en línea.

Es importante señalar que el control del almacén no está a cargo de GM, sino de un outsourcing (SEGLO); esta compañía externa tiene la responsabilidad de asegurarse que el material llegue a la línea de trabajo libre de defectos y justo a tiempo. Por lo que es responsable de recibir el material de los proveedores y llevarlo en el tiempo preciso a la línea de ensamble. Además, en coordinación con los proveedores y GM se encarga del secuenciado.

El inventario del complejo Silao actualmente fluctúa entre dos y tres días de inventario, lo que es un índice de desempeño muy bueno y totalmente acorde a la filosofía *JIT*. Otro aspecto relevante es que el inventario en proceso es mínimo.

El almacén administra el sistema PEPS (primeras entradas primeras salidas), es decir, se hace una secuencia del material, de tal suerte de que el material con más tiempo almacenado sea el primero en utilizarse. Para llevar a cabo este control se utilizan etiquetas de colores, con las cuales se puede saber la fecha de entrada del material, y de esta forma darle salida a lo que llegó primero. Asimismo, el material menos reciente es colocado en primera fila, para que éste sea el primero en ser utilizado. Con esta administración se disminuyen las pérdidas por deterioro y discontinuación de material.

Como una medida de seguridad para evitar falta de suministros en la línea de ensamble, el outsourcing lleva cabo conteos semanales de material, reduciéndose de esta forma el riesgo de parar la línea por falta de piezas.

Puesto que una fabricación uno a uno en un ambiente *kanban* y secuenciado exige un flujo constante de suministros en pequeños lotes, ya se tiene programado una serie de rutas para la entrega de materiales: esta programación incluye el orden, el lugar y el tiempo en que deben ser llevados los materiales. La programación es definida mensualmente, y sólo sufre algunos ajustes en la marcha. La transportación se lleva a cabo mediante pequeños montacargas que llevan el material desde el almacén hasta las estaciones de trabajo. En la planta de GM se observa un constante flujo de montacargas entregando lotes pequeños de suministros a todas las estaciones de trabajo.

Otros puntos importantes en la línea de ensamblaje de GM son la estandarización de operaciones, la rotación de trabajadores, la transportación y las políticas de seguridad.

Estandarización de Operaciones. La estandarización de operaciones es un principio muy importante en la filosofía de trabajo de GM, de hecho, en cada estación de trabajo existen mamparas con diagramas de flujo, en los que se detallan las operaciones que deben ser llevadas a cabo en cada subproceso. Para GM la estandarización de operaciones es un principio de calidad.

Rotación de Trabajadores (shojinka). Dentro de cada estación de trabajo existe un programa de rotación de obreros. La rotación varía según la estación y el entrenamiento de los trabajadores. Esta rotación le da una mayor flexibilidad humana a la producción, al igual que elimina el riesgo de paro por inasistencia de obreros. El programa de rotación se extiende al área administrativa, sin embargo, esta rotación es más lenta que en la línea de trabajo.

Transportación. GM es una planta altamente automatizada, por lo que el flujo de la producción es transportado por bandas electrónicas y robots programados. Prácticamente no se observan transportaciones manuales, ya que, como se había dicho antes, el suministro y manejo de materiales se lleva a cabo con montacargas o carros mecánicos.

Políticas de Seguridad. En todas las mamparas ubicadas en las estaciones de trabajo se encuentra indicado el equipo de seguridad requerido en ese subproceso. Asimismo, a lo largo de la planta se observan líneas de seguridad que indican las zonas de trabajo, de almacenaje, de paso peatonal, etc. La filosofía de GM considera a la seguridad como una responsabilidad compartida por los trabajadores y por la empresa. Aunque naturalmente existen accidentes dentro de la planta, en términos generales el número de siniestros es muy bajo; durante el periodo enero-agosto del 2001 se habían registrado solamente un total de 25 accidentes leves y 2 graves.

6 El control de calidad en GM

El control de calidad es sin duda uno de los aspectos más importantes en el manejo actual de las empresas. En este rubro el caso de la planta de GM es notable, ya que su excelente calidad la ha hecho ganadora a diversos premios, entre los que sobresale el Premio Nacional de Calidad. Asimismo, la planta cuenta con certificaciones de ISO 9000 y 14001 (de ecología), entre otras. Las más importantes estrategias de control de calidad utilizadas en GM son: revisiones sucesivas, administración visual, estandarización de procesos, participación activa de los trabajadores y acuerdos con proveedores

Revisiones Sucesivas. A lo largo del proceso de producción existen centros de verificación en los que se revisa que los procesos se estén llevando a cabo correctamente, para evitar que pasen errores a través de la línea. Para hacer más ágil estas revisiones se emplean listas de chequeo, en las que se tienen identificados los puntos más importantes a revisar en cada centro de verificación.

Cuando es detectada alguna anomalía, los obreros deben accionar un interruptor que para la línea de ensamble automáticamente, evitando de esta manera que el error pase. Los paros de línea son apoyados por andones y pantallas digitales, las cuales le informan a las áreas responsables qué estación de trabajo está en problemas.

En la línea final también se llevan a cabo chequeos finales como los son la impermeabilidad contra el agua, el correcto prendido de las luces, así como el funcionamiento mecánico en general. Aunque algunas de estas pruebas no se aplican a todos los autos, prácticamente se tiene una inspección uno a uno.

Actualmente las causas más frecuentes de paros en la línea son la falta de material, retrasos en procesos y accidentes.

Administración Visual. El uso de andones, pantallas digitales, mamparas, letreros y colores de identificación, hacen de GM una planta de fácil control visual. Por un lado, los andones conformados por tres colores básicos (rojo, amarillo y verde), son utilizados para el control de calidad: cuando se detecta algún error en la producción o un problema en la línea, se acciona una luz roja en la estación de trabajo, la que informa a las otras áreas que existe un problema en esa estación de trabajo.

El uso de andones es complementada con la utilización de pantallas digitales: en toda la planta se observan pantallas electrónicas (*board system*) en las cuales se indica el status de la producción, así como el reporte de paros de línea. Por ejemplo, si la estación 12 de vestiduras tiene un paro por un problema de calidad, entonces aparece en la pantalla un mensaje que indica que la estación V-12 está en problemas.

Además del andon y la información de la pantalla electrónica, en caso de paro se escucha también una alarma. Con este tipo de control, los responsables de las áreas afectadas pueden localizar rápidamente la sección en problemas.

La administración visual también es usada para señalar áreas de seguridad, de trabajo, de control de calidad (el material suministrado que ya ha sido revisado lleva una etiqueta de color), al igual que para el manejo de desperdicios (cada bote tiene un color diferente que indica el tipo de desperdicio para lo que está destinado).

La planta de GM puede ser administrada visualmente gracias a lo reducido del inventario, al buen orden y a la limpieza, aspectos muy cuidados por la administración.

7 La Relación con los Proveedores

Puesto que un ambiente *JIT* las fallas de los proveedores pueden causar severos problemas, el proceso de compras es uno de los más cuidados en GM.

Aproximadamente el 60% de los suministros provienen del extranjero y el resto del interior de la república, los materiales llegan en su mayoría por tráiler y en menor proporción en ferrocarril y en avión. La vía aérea se usa normalmente para transportar piezas costosas y pedidos urgentes.

Para lograr un auténtico sistema *JIT* GM ha desarrollado una eficiente red de proveedores. De forma paralela a la creación del Complejo, se fundó un clúster de suplidores en el parque industrial Silao (a menos de 20 minutos de la planta de GM). Con este clúster se ha logrado tener entregas incluso en tiempos menores a 1 hora. Aunque no todos los proveedores nacionales se encuentran en este parque, sí un gran porcentaje de los mismos. En el caso de los proveedores extranjeros éstos son principalmente compañías con acuerdos a nivel internacional con GM.

GM suscribe detallados acuerdos con sus suplidores; los puntos más importantes de estos contratos son:

- El proveedor debe estar dispuesto a ser auditado en el momento en que GM lo solicite.
- Cuando lo solicite GM, el proveedor debe entregarle sus índices de gestión como: paros de líneas, accidentes y rotación de personal.
- El proveedor tiene la obligación de adoptar filtros de calidad para que sus productos lleguen libre de defectos a la línea de ensamble de GM.
- El material debe ser entregado hasta el almacén de la planta, en el lugar indicado por SEGLO.
- El proveedor es responsable de los suministros hasta que éstos se encuentran en el lugar especificado por SEGLO.
- El proveedor suscribe un compromiso de mejoramiento continuo en sus sistemas de producción y entregas. Es decir, si GM mejora el suplidor está obligado también a mejorar.
- El proveedor debe adoptar las políticas generales de GM.
- Los proveedores se comprometen a capacitar continuamente a sus trabajadores.
- En la planta los proveedores deben ajustarse a sus políticas de seguridad.
- El proveedor debe participar en la planeación de la logística de las entregas.

Como una acción estratégica para la correcta entrega de materiales, se le exige al proveedor que tenga un enlace dentro de la planta, para que éste funja como responsable en caso de inconvenientes y agilice los arreglos necesarios. Estos enlaces también se encargan de revisar el material que están entregando.

En la zona de descarga se puede observar una llegada constante de materiales. Este tipo de entregas ha motivado a que varias empresas proveedoras de GM también adopten el sistema *JIT*, algunas de ellas como las que surten afacias y asientos son empresas mexicanas.

Una de las ventajas de las grandes armadoras, como es el caso de GM, es que su capacidad de producción les permite generar toda una red de suplidores, lo que les hace más fácil llevar a cabo un eficiente proceso de compra.

Si bien, se dan problemas de incumplimiento de parte de algunos proveedores, en términos generales las compras en GM se llevan justo a tiempo.

Ventas JIT

La GM también procura llevar a cabo ventas justo a tiempo: una vez que sólo se está produciendo lo que la demanda requiere, se debe también de vender justo a tiempo.

Ya que el gran porcentaje de la producción se exporta al extranjero, casi toda la producción se envía vía tren a los Estados Unidos de donde se distribuye a todo el mundo la producción. Cuando alguna unidad ya ha sido pagada por un cliente específico y no encargada únicamente por alguna comercializadora, se le coloca una etiqueta, para que una vez que ha salido de la línea de producción, esa unidad sea puesta en primer orden para ser trasladada a E.U.

8 La Dirección y el Manejo de Recursos Humanos

En la planta están trabajando aproximadamente 4,300 empleados, de los cuáles 300 son administrativos. Este número incluye los dos turnos de trabajo (de 6:00-15:00 y de 15:00-23:30). GM tiene implantada toda una filosofía de dirección, en la que al igual que en las otras áreas, se observa un claro sistema *JIT*.

En el área administrativa se puede percibir un ambiente sencillo e informal, las políticas de dirección más importantes son:

- Todos los trabajadores, y sin excepción de jerarquías, usan el mismo uniforme.
- Las secciones de trabajo están delimitadas por divisiones de poca altura, lo que permite visualizar fácilmente a todos las secciones y trabajadores, incluso el director general no cuenta con un privado, sino con una sección abierta.
- Existen indicadores visuales en todas las oficinas: nombres de las secciones de trabajo, nombre de los trabajadores, señales de seguridad, etc. Esta accesibilidad permite ubicar rápidamente alguna sección, así como conocer el nombre de sus empleados.
- Se busca la participación de equipo y la flexibilización de jerarquías, de hecho, se está trabajando en crear grupos autodirigidos.
- Cada área tiene sus propias políticas y metas (teniendo siempre como marco las políticas generales de la empresa).
- Se motiva la rotación de personal.
- La dirección procura involucrar al trabajador en el mejoramiento y solución de problemas. Siempre que se detecta algún problema se le pide al trabajador que entregue un reporte en donde informe la causa del problema y proponga posibles soluciones.

Por otra parte, en la línea de producción se observan los siguientes aspectos.

- Todos los obreros usan el mismo uniforme que los administrativos.
- Los trabajadores son responsables del orden en sus áreas de trabajo.
- Existe un programa de rotación de personal.
- Cada sección de trabajo lleva sus indicadores de gestión, como lo son: accidentes, asistencias, paros de línea, horas de capacitación y tasas de rotación.
- Cada área tiene sus propias políticas y metas (teniendo siempre como marco las políticas generales de la empresa).
- Al inicio y al final de cada turno, cada estación de producción celebra juntas para discutir tópicos relacionados al trabajo. Cuando existen paros en la línea se aprovecha el tiempo muerto en juntas de trabajo.
- Antes de empezar a laborar los trabajadores reciben en promedio 2 meses de entrenamiento.
- Los salarios se incrementan en relación a la antigüedad del obrero.

Con respecto a la dirección se distinguen los siguientes puntos:

- Accesibilidad y flexibilización de las jerarquías.
- Se motiva la participación proactiva de todos los trabajadores.
- Se procura una dirección atenta y sensible ante los trabajadores.
- Se han establecido vínculos de comunicación con los empleados: en toda la empresa (oficinas y planta) se pueden observar mamparas con los índices de gestión de cada área, así como información de desempeño global.
- Existen publicaciones periódicas internas para difusión de temas como: liderazgo, logros de la empresa, programas institucionales, etc.
- En cada mesa del comedor se observa un letrero con información acerca del avance diario de la producción, el número de accidentes, noticias generales de la planta, avisos importantes, lista de cumpleaños de trabajadores y noticias de otras armadoras. Con este tipo de gaceta se logra informar a los trabajadores diariamente de las noticias más relevantes de la empresa.
- Se realizan juntas periódicas en donde se les informa a los trabajadores los resultados y avances registrados en el año.
- SEGLO publica en mamparas las fotografías y los datos generales de los nuevos trabajadores, dándoles de esta manera la bienvenida a la empresa e introduciéndolos con sus nuevos compañeros de trabajo.

- Para evitar “piratería de personal”, GM tiene acuerdos con sus proveedores, los cuales conforman una gran mayoría de las empresas de la región. Con estos acuerdos se evita que los trabajadores de GM sean contratados en otras empresas.

Departamento de Ideas y Mejoramiento. Para motivar la participación de los trabajadores en el mejoramiento continuo se tiene el departamento de ideas y mejoras; la tarea de esta área consiste en recoger y evaluar las diversas ideas de mejoramiento propuestas por los trabajadores.

Las ideas que son implementadas son recompensadas por un premio económico. Para evaluarlas éstas son clasificadas en dos tipos: las que sirven para mejorar procesos, y las que ayudan a reducir costos. Las del primer tipo son recompensadas con una cuota fija, mientras que las otras son premiadas en función de su impacto: se da el 5% del ahorro generado (fijándose un tope máximo). La participación de los trabajadores puede ser tanto en forma individual como en equipo.

Este medio de participación le ha generado excelentes resultados a GM; actualmente se ha logrado que el 62% de los trabajadores participe en el mejoramiento de la planta, de hecho, se reciben aproximadamente 500 ideas mensualmente, de las cuales un poco más del 50% son implementadas.

Este departamento es sin duda una excelente acción estratégica, ya que no solamente sirve para establecer líneas de mejoramiento, sino también es un medio de reconocimiento a la inteligencia y creatividad de los trabajadores, al igual que estimula la participación de los trabajadores, puntos muy importantes en la filosofía *JIT*.

Como una medida de mejoramiento y control continuo, se pueden observar reportes de índices de gestión, en los que se especifican índices del mes, promedio mensuales, jerarquización de problemas, acciones de mejoramiento, etc. , en la Fig. 6.1 se puede observar un ejemplo.

Sin duda, el liderazgo, la administración y el manejo de recursos humanos en GM comparten los principios esenciales de la filosofía *JIT*: respeto, participación activa y responsabilidad compartida.

INDICADORES DE CONTROL DE PAROS DIARIOS
(LOS DATOS NO SON REALES)

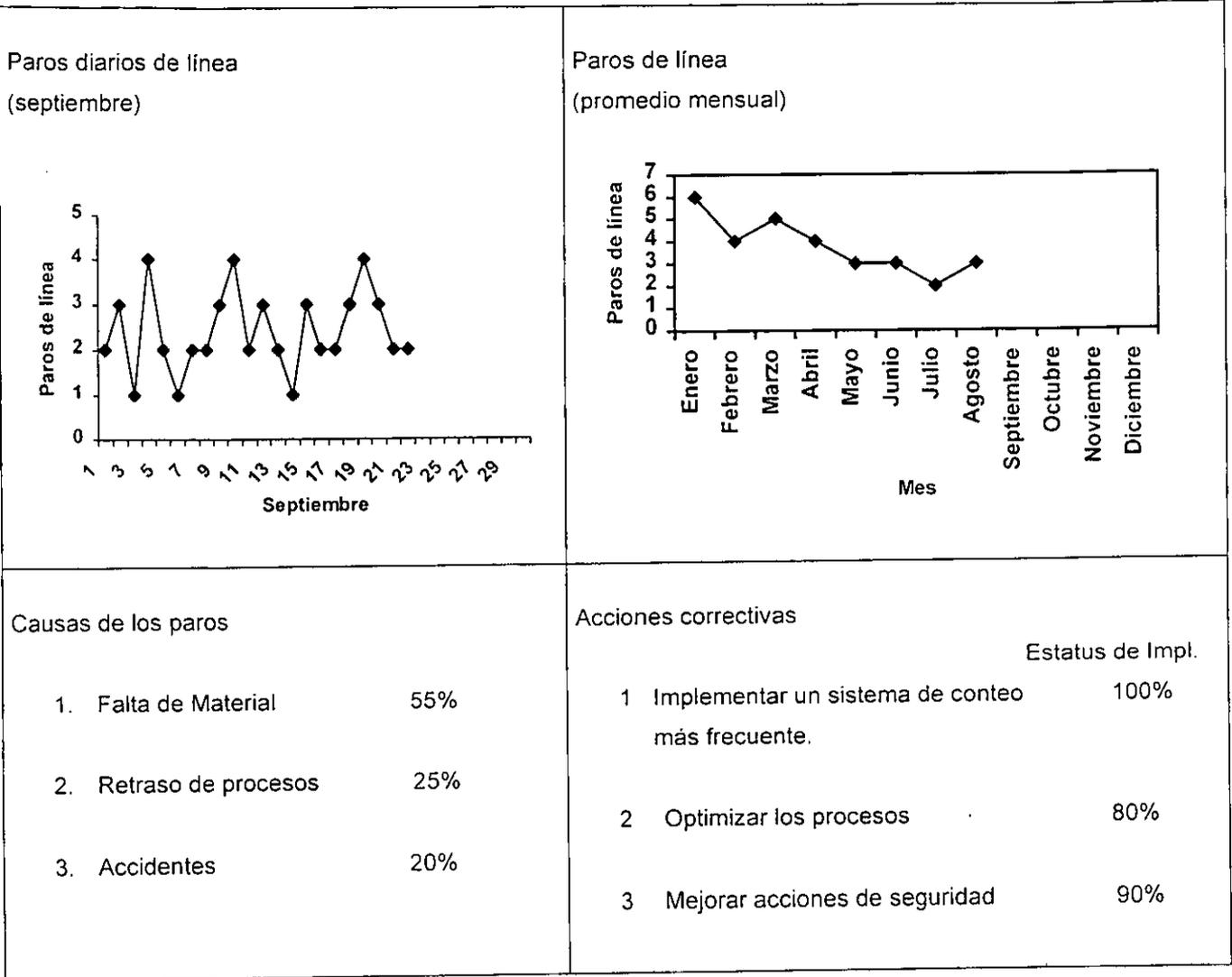


Fig. 6.1 Indicadores de control

9 Valores y actitudes de los trabajadores

Contrariamente a lo que en ocasiones se dice, esta planta es una clara muestra de que la mano de obra mexicana es altamente competitiva, los excelentes estándares de calidad hacen que la producción de esta planta está dirigida prácticamente al mercado internacional.

El hecho de ser una planta nueva (menos de 7 años), le permite a GM tener una plantilla de trabajadores jóvenes: la edad de la mayoría de los obreros no rebasa los 30 años. El nivel

promedio de estudios es de secundaria y en su gran mayoría los obreros son del sexo masculino.

De las entrevistas realizadas a diversos obreros se identificaron las siguientes actitudes:

- Se considera que la capacitación recibida es buena y suficiente.
- El salario percibido es suficiente, pero no bueno, sobretodo si se compara con el tipo y cantidad de trabajo. Actualmente el salario fluctúa entre los 400 y 1,200 pesos semanales.
- Se cree que los directivos y la empresa no están al 100% comprometidos con los obreros.
- Aunque los obreros sienten que son tomados en cuenta en las decisiones y manejo del trabajo, no siempre son tomados en cuenta; este factor depende mucho del tipo de liderazgo del jefe de sección.
- En su mayoría los obreros no se sienten comprometidos al 100% con la empresa, además, no dimensionan una relación a largo plazo con GM.
- Los trabajadores consideran que son pocas sus perspectivas de desarrollo.
- En términos generales, los trabajadores están medianamente satisfechos con la empresa.

10 Resultados de la filosofía JIT

Son notables los beneficios que le ha traído a GM el trabajar en un ambiente JIT, entre los más relevantes podemos mencionar:

- Reducción de costos operativos y administrativos
- Reducción del costo financiero por inventario .
- Una mayor flexibilidad y capacidad de adaptación ante los cambios en la demanda.
- Estándares de calidad de clase mundial.
- Disminución del riesgo de pérdidas por material obsoleto o en desuso.
- Mejoras en la operación.

En un estudio reciente realizado por J.D. Power de Calidad Inicial²¹, GM mostró las mayores mejoras que ninguna otra automotriz de los Estados Unidos durante el periodo 1999-2000. Particularmente el desempeño de la planta Silao en el 2000 en relación con 1999, fue el que más mejoró en ensamble en Norteamérica. Además es importante resaltar que la planta de GM

²¹ General Motors Mejora su Productividad, Terra Autos, en www.terra.com.mx, 2001.

ha recibido diversas distinciones nacionales e internacionales, entre las que destaca, como ya se había comentado antes, el premio nacional de calidad.

11 Vistazo al futuro

Actualmente la planta está organizando los últimos detalles para poner en marcha una nueva línea de producción: la de motores (los cuales tienen que ser traídos de una planta de GM en E.U.). Poder fabricar los motores en la misma planta les va a reducir un 10% los costos de transportación, así como una respuesta más rápida a problemas de calidad.

En el futuro GM tiene como meta eliminar cualquier subensamble dedicarse y exclusivamente a la venta y ensamble de autos, dejando a outsourcings la responsabilidad de todos los demás aspectos administrativos y logísticos de la planta. Es decir, GM sólo se dedicará a ensamblar autos justo a tiempo.

6.2 EL CASO DE EQUIPTO, DISEÑANDO UNA PLANTA DE FABRICACIÓN EN CELULAS²²

Antecedentes

En muchas industrias los fabricantes de EE.UU. están siendo obligados a ofrecer entregas rápidas de una cada vez más grande variedad de productos, lo mismo en grandes volúmenes como en cantidades relativamente pequeñas. Los clientes esperan poder ordenar cualquier estilo y cualquier color del producto en el tiempo deseado, y a precios cada vez más inferiores; no importando si el cliente es un comprador minorista, un distribuidor o un fabricante .

Para enfrentar estos desafíos muchas de las industrias están implementando Justo a Tiempo y fabricación celular. La tecnología *JIT* provee la capacidad de manufacturar lotes pequeños en entregas cortas garantizando productos de alta calidad.

Equipto un exitoso caso de implementación del *JIT*

Equipto, ubicada en Aurora Illinois, fabrica anaqueles y equipo de estantería. En 1992 la fabrica se separó en tres instalaciones: Pensilvania, Texas y Aurora. Históricamente la mayoría de los productos que se producían comprendían estantes de paleta y equipos de estantería en colores y tamaños estándares. Las ordenes de los clientes eran tomadas del inventario de mercancías terminadas.

En 1992 el proceso de fabricación de la compañía respondía exitosamente a las necesidades del mercado. Los talleres de fabricación estaban ordenados en proceso de layouts funcionales. Las tecnologías del proceso consistían principalmente en troquelado, punzando y otras operaciones de moldeo las cuales producían largas corridas de productos estándares.

Los inventarios grandes de mercancías terminadas satisfacían la demanda de los clientes y aseguraban una respuesta oportuna a las ordenes de los clientes. Normalmente las salidas del taller promediaban de seis a ocho de semanas.

A lo largo del decenio de 1980 y los inicios de los años noventa, el mercado había cambiado completamente. Además de una alta calidad, los clientes ahora exigían entregas rápidas y una mayor variedad en los productos a precios más bajos. Los clientes requerían el embarque de un producto estándar en no más de cinco de días.

²² Estudio de caso documentado del artículo: "Designing a Cellular Fabrication Plant", escrito por David Dixon y David Scott, publicado en www.tcawcm.com, con permiso de la empresa Equipto.

El departamento comercial de la compañía identificó los cambios en el mercado y trató de responder a ellos. La compañía le ofreció a los clientes entregas dentro de los cinco días posteriores a la orden. Además, se expandieron las posibilidades de diferentes colores, al igual que un conjunto de variaciones en el producto se hicieron disponibles.

Desafortunadamente la fabricación no estaba diseñada para responder a las nuevas demandas. A finales de 1992, la compañía retenía más de cinco meses de productos en Proceso y de mercancías terminadas en inventarios. El 70% de sus 700,000 pies cuadrados de espacio estaban ocupados de inventarios. No obstante estos grandes inventarios, la compañía todavía experimentó existencias agotadas y en ocasiones debía apresurar ordenes para satisfacer las demandas de los clientes.

La compañía reconoció que el sistema de manufactura tenía que adaptarse a las nuevas circunstancias; esta nueva forma de fabricar debía ser capaz de producir en plazos cortos una gran variedad de productos. Después de discusiones se concluyó que el nuevo sistema de manufactura debía girar entorno a una estrategia de células de fabricación que debía incidir en los siguientes puntos:

1. Tecnología de los procesos
2. Instalaciones
3. Sistemas
4. Recursos humanos

El rediseño de la fábrica debía permitir un rápido ciclo de fabricación de una variada línea de productos, así como debía minimizar el inventario y mantener una alta calidad.

La Fabricación en Células

El concepto clave en la fabricación celular es crear conjuntos de pequeñas fábricas orientadas a producir alguna pieza en particular o a una familia de piezas similares. Las células deben diseñarse de tal manera que toda la actividad dentro de la célula sea visible y manejable desde el punto de vista de la programación, la planificación y la asignación de trabajos. Normalmente una célula está conformada por 5 a 10 operadores.

Tecnología de los procesos. El equipo tecnológico en la fabricación celular debe ser capaz de proveer los siguientes requerimientos:

1. Capacidad de fabricar una parte desde el inicio hasta el final dentro una célula de trabajo.
2. Capacidad suficiente para manejar la carga planeada.
3. Una tecnología que facilite montajes rápidos.
4. Capacidad de satisfacer las especificaciones requeridas.

En una fábrica celular es importante contar con equipo cuyo montaje sea rápido, de lo contrario difícilmente se puede tener una efectiva fabricación en pequeños lotes. Además, la maquinaria pesada y de montaje difícil generalmente origina mayor espacio y más costos.

Instalaciones. En una célula las distancias de transporte que recorren los materiales se reducen mucho. Sin embargo, puesto que se está trabajando con lotes pequeños aumenta el número de movimientos. El desafío para la fabricación celular está en proponer un manejo de material, un layout y métodos de almacenaje que minimicen el costo del transporte y almacenaje de material.

Dentro de una célula el layout puede tener un impacto directo sobre su eficacia. Se debe procurar que las distancias entre las estaciones de trabajo no sean muy grandes, ya que de lo contrario se destruye la capacidad de comunicación entre ellas al igual que la facilidad de balancear el paso de material de una estación a otra.

La distribución en U o configuraciones similares son frecuentemente los arreglos más efectivos para las fábricas en células.

Los sistemas. En la fabricación en células los sistemas o procedimientos tienen cinco funciones principales:

1. Comunicar un requerimiento de producción a la célula.
2. Comunicar las necesidades de material de una célula a otras células o a otras áreas funcionales.
3. Administrar y balancear la carga de trabajo dentro de la célula.
4. Evaluar la capacidad de la célula para programar las cantidades a producir.
5. Dar todo el seguimiento del trabajo en la célula.

De estas funciones, la capacidad de planificación y seguimiento son hechas más eficazmente por computadoras. Las funciones 1 y 2 se manejan frecuentemente con señales visibles tales como los Kanbans. El balanceo de la carga dentro de la célula se obtiene mediante un

adecuado análisis de la capacidad de la estación de trabajo, una agrupación y secuencia estratégica, así como un cambio de trabajadores entrenados.

Los Recursos Humanos. Para implementar una fabricación celular un eficaz entrenamiento es vital. El entrenamiento debe capacitar a cada operador en el desempeño de todos los trabajos que se realizan en la célula, en mejorar las comunicaciones y el trabajo en sí, al igual que desarrollar e implementar procedimientos de manejo y operaciones claros dentro de la célula.

Es importante que el entrenamiento alcance tanto a operadores como a directivos .

Enfoque

En Octubre de 1992 la compañía decidió contratar a Technical Change Associates, una consultora de estrategias de manufactura para ayudar a planear y administrar la transición a un sistema *JIT* y a una fabricación celular. El proceso para planificar la transición incluyó seis pasos.

Paso 1 Asociar los tipos de Producción

En este paso se definieron y agruparon las categorías de productos manufacturados; esta clasificación se asemejaba a un catalogo de productos de la compañía.

Dentro de cada categoría de productos se identificaron las partes representativas; por ejemplo, la categoría de objetos de anaquelaría incluían unidades de anaqueles que variaban por su profundidad, anchura, altura, etc. De esta forma se seleccionó una unidad estándar para representar todas las unidades de estantería.

Entonces, se observó los requerimientos de materiales para cada producto y se establecieron los datos de procesamiento de cada parte.

Paso 2 Identificación de tiempos de procesamiento y montaje de las partes representativas

El siguiente paso fue el determinar el tiempo de procesamiento y montaje necesario para procesar cada parte representativa.

Paso 3 - Identificar Familias de productos o partes

El propósito del paso 3 radicaba en agrupar las categorías de productos identificadas en el paso 1 para que una célula pudiera ser diseñada para manufacturar una familia de productos o partes.

Después de un análisis extensivo, la compañía decidió enfocar las células para manufacturar productos y no familias de partes. El factor decisivo estuvo en la tecnología del proceso.

En el uso de maquinaria ligera no había diferencias claras entre los tipos de equipos requeridos para producir productos o partes diferentes. Sin embargo, si se usaba tecnología pesada casi todas las máquinas estaban orientadas a la manufactura de productos y no de partes. La decisión de retener algunos equipos pesados en la manufactura condujo a que las células se enfocaran al producto.

En otras aplicaciones no podría ser apropiado crear células enfocadas a productos. Otros criterios para agrupar partes o productos en familias incluyen factores tales como espesor y tipo material, cortes comunes, configuraciones, geometrías similares, etc.

En esta etapa la compañía también decidió crear una célula que se encargaría de procesar las partes punzadas para cada una de las células. Aunque dos células tenían las condiciones para que se pudiera punzar el material, ninguno de las otras células contaban con tales características.

Ya que la tecnología para punzar representó una inversión importante para la compañía, se sacrificó un poco el ideal de producir un producto desde el comienzo hasta el final dentro de la célula, en favor de algunas consideraciones prácticas.

Paso 4 - Identificar tecnologías alternativas

En esta etapa se trató de integrar a las células tecnologías más flexibles que las que se habían empleado en el pasado. Aunque se retuvieron muchas operaciones con tecnología pesada, a través del tiempo la compañía había diseñado algunos enfoques creativos en el uso de la maquinaria.

Con este enfoque algunos productos (por ejemplo estantes de tamaños estándares), podían producirse efectivamente con la tecnología pesada retenida en una célula.

Para poder verdaderamente integrar estas operaciones en un ambiente de células de fabricación se hicieron importantes esfuerzos para reducir los tiempos de montaje, tanto de equipo pesado como de equipo ligero.

Paso 5 - El desarrollo conceptual de células de fabricación

El funcionamiento arquetipo de las células creadas por la compañía es el siguiente:

Las partes que entran a la célula provienen directamente de materiales en bruto o de la célula destinada a punzar. Estos materiales son formados y soldados dentro de la célula. Posteriormente salen de la célula para ser pintados y regresar a la misma célula para el ensamblaje final.

Para determinar los requerimientos de equipo en cada célula se calculó el tiempo total de proceso para volúmenes proyectados y tamaños de lotes esperados. Este paso requirió considerable trabajo de ingeniería para determinar los tiempos de procesamiento y de montaje.

Paso 6 - Diseño del layout para las Células y para la Planta

El diseño del layout debe asegurar la factibilidad del concepto de la célula y contemplar los requerimientos de configuración y espacio de las células. Un layout se crea en dos pasos. El primero, es el desarrollo de un macro layout que planifique y pueda optimizar la ubicación ideal de cada célula con respecto a las otras áreas funcionales dentro de la planta; esto debe ser hecho cuidadosamente considerando todo el flujo del material y todas las relaciones entre las diferentes áreas.

El siguiente paso usa el macro layout como un guía para desarrollar un esquema detallado que ubique cada equipo en un punto específico de la planta.

En consideración a los beneficios esperados por la implementación de las células de fabricación, se decidió cerrar la planta de Aurora y sólo mantener las de Texas y Pennsylvania.

Resultados

En Octubre 15 de 1993 se acordó poner en marcha el proyecto. Después de 60 días de haberse iniciado el proyecto toda la maquinaria que se encontraba en las tres plantas de fabricación, conjuntamente con el nuevo equipo, fue reubicada en las instalaciones de Pensilvania y Texas

según los esquemas celulares propuestos. Para inicios de Enero de 1994 todos los movimientos y modificaciones físicas fueron completadas.

Aunque la compañía había constituido un inventario para varios meses antes del movimiento, todavía se necesitó continuar con algunas operaciones para satisfacer las demandas del cliente. Después de algunos problemas durante los primeros meses para satisfacer las entregas, las células comenzaron a funcionar como se había planeado. Hoy las células son capaces de adaptarse rápidamente a las ordenes específicas de los clientes, tanto en tipo de producto como en tiempo de entrega.

Un beneficio muy importante fue que los inventarios fueron reducidos en un 40 por ciento, incluyendo también una reducción del 45 por ciento en trabajo en proceso. Asimismo, el espacio ocupado dentro de las instalaciones se redujo de 700,000 a 260,000 pies cuadrados.

Noventa por ciento de todos los productos están siendo embarcados a tiempo. Además, las ventas aumentaron en un 20%, algunas células han trabajado a niveles más altos. Todos los tiempos de fabricación están siendo reducidos y muchos productos se fabrican ahora en 5 días posteriores a la demanda de un cliente.

Además, la compañía aprendió algunas lecciones sobre como implementar cambios de largo plazo dentro de una organización. Estas lecciones incluyen:

1. Entender que la magnitud del esfuerzo requerido que planifique e implemente cambios importantes toma tiempo para crear un plan apoyado por todos.
2. Prestar atención a las demandas hechas por la gente afectada por los cambios.
3. Estar dispuestos a enfrentar problemas con los recursos humanos. Desde el piso del taller hasta las oficinas administrativas, habrá elementos que estarán maldispuesto o serán incapaces de adaptarse al nuevo ambiente.
4. Mejoramiento continuo es el núcleo de la fabricación de clase mundial. La compañía debe estar continuamente buscando maneras para mejorar el servicio al cliente: un equipo debe estar estudiando las necesidades de tecnología que mejoren la fabricación, otro equipo debe trabajar para modernizar el proceso, y por su lado, los líderes de equipo de las células deben estar mejorando el funcionamiento de sus áreas.



EL JIT EN MÉXICO

PERSPECTIVA Y OPORTUNIDADES

En un mercado global y competitivo como en el que se encuentra inmerso México, una empresa no sólo puede competir en base a costos, sino a calidad, celeridad en las entregas, flexibilidad en la línea de producción, productividad, etc. En este sentido, la filosofía JIT les ofrece a las empresas mexicanas un sistema de producción altamente competitivo. J. Morales

7.1 EL JUSTO A TIEMPO EN MEXICO, UNA PERSPECTIVA

No obstante sus bondades, la utilización del *JIT* en México ha estado predominantemente restringida a dos sectores: la industria automotriz y la maquiladora.

Particularmente en el caso de las maquiladoras el sector de las autopartes y el de electrónicos son los giros más beneficiados por el sistema *JIT*. Entre las maquiladoras que llevan el *JIT* en México podemos nombrar a la Delphi-Juárez, la SEC, la Samsung Tijuana, y la Woodhead Juárez.

En general estas maquiladoras *JIT* son plantas modernas que cuentan con trabajadores calificados, buenos estándares de calidad, sistemas de entrega eficientes, así como reducidos tiempos de entrega, de retrasos y de inventarios. Además, la mayoría de estas maquiladoras comparten las siguientes características:

- Un núcleo importante son de capital estadounidense, y en menor medida asiático y mexicano.
- Su mercado de proveedores está integrado prioritariamente por empresas extranjeras, normalmente superior al 50% (en algunas empresas se llegan a niveles del 90%).
- Están localizadas principalmente en ciudades cercanas a la frontera norte.
- Su producción está dirigida fundamentalmente al mercado norteamericano y a industrias transnacionales.

Las principales estrategias *JIT* que han implementado estas maquiladoras han sido:

- Manufactura en células.
- Reducción de inventarios.
- Administración visual.
- Una dirección orientada a otorgar más responsabilidades a los trabajadores en el piso.
- Participación grupal y flexibilidad funcional.
- Una política de eliminación de desperdicios.

Estas maquiladoras se han vuelto competitivas por su buena calidad, entregas eficientes, costos unitarios, uso flexible de la mano de obra y reducción de ciclos de producción.

En la industria automotriz prácticamente todas las armadoras utilizan estrategias Justo a Tiempo, particularmente en México la GM y la Volkswagen se han caracterizado por implementar sistemas *JIT* más agresivos. En el caso de la General Motors la operación de sus plantas Ramos Arizpe y Toluca son similares a las del complejo Silao.

Por su parte, la VW cuenta una sola planta localizada en Puebla. Su complejo se ha especializado en tres modelos para el mercado de exportación, el Jetta A4, el Nuevo Beetle y el Cabrio. La marcha de esta planta se marcó por las reestructuraciones de los años 90'.

El perfil que las reestructuraciones adoptaron se definieron hacia la creación de un Cluster de empresas proveedoras de "clase mundial" que se instalaron en la cercanía de la planta para hacer efectivo el Justo a Tiempo. Para 1999 las empresas habían pasado del esquema de "filas" al sistema de módulos, en este modelo los suplidores ya son responsables de la integración de módulos, es decir, de partes que requieren trabajos de ensamble y subensamble previos a su inclusión en el auto. Este clúster concentra aproximadamente el 75% de las compras nacionales de la VW. Al igual que la industria maquiladora y GM la VW las importaciones son mayores a sus compras nacionales (58.5% en 1999).

De todas las fábricas proveedoras cada 15 o 20 minutos, dependiendo de su distancia a la VW, sale un envío de partes con destino a las líneas de ensamble, en contenedores adaptados a vehículos o en vehículos diseñados ex profeso. Junto a la obligada precisión del tiempo de envío, existe otra más importante: las partes en ruta deben corresponder a un producto específico que se ensambla. Ninguna pieza viaja sin que su destino y tiempo estén determinados. Esta sincronía es altamente sofisticada si se considera que puede haber hasta una decena de modelos que se combinan para dar más de 25 variantes, cuyas distinciones son diversas mezclas de diseño, potencias, motor, color, transmisión, vestiduras, etc.

Para controlar esta operación, la VW ha instalado un sistema llamado *Guplex V4.0.5* (similar al software de secuenciado de GM), el cual se maneja con terminales de computadora en cada una de las plantas, desde donde el proveedor puede saber de manera precisa el estado de la secuencia del proceso (que se denomina *Just in Time Secuenciado*) y los envíos que con sus especificaciones en barras de control tendrán que remitir a los puntos de contacto con la cadena de ensamble.

Los altos costos de perder la sincronía del sistema se revelan en el hecho de que el proveedor que detenga la cadena se hace acreedor a una penalización que llega a valer hasta 2 mil dólares el minuto.

De la misma manera que GM cuenta con los servicios de SEGLO, la VW ha contratado una compañía especialista en logística responsable del control del almacén y el secuenciado de los suministros.

Todas las empresas proveedoras deben reunir estrictos requisitos relacionados a la calidad de los productos. La verificación de esto procede por dos vías, la certificación de calidad internacional, que lo dan los sistemas ISO 9002/QS 9000 y la norma de certificación alemana que VW exige a sus proveedores, conocida como VDA por sus siglas en alemán.

Las empresas están clasificadas desde A hasta C, lo que implica que para ser proveedor A, se requiere una compenetración total respecto de las exigencias de calidad establecidas por la firma VW; en tanto, los niveles B y C se refieren a niveles de desarrollo temporales para obtener el rango de empresa proveedora A.

Actualmente la VW es líder nacional en producción y exportación de unidades, además, es una de las plantas industriales más grandes a nivel mundial. Sin duda, la VW México es un caso exitoso de un programa *JIT*.

Fuera de la industria maquiladora y automotriz existen otras empresas que han establecidos estrategias o programas Justo a Tiempo como lo son Mabe, Xerox y TAMSA. En el caso especial de TAMSA, esta industria ofrece un programa Justo a tiempo a sus clientes, en el que se compromete a entregar material hasta en 72 horas después del pedido, logrando así disminuir notablemente el almacén de sus clientes, entre los que destaca PEMEX.

Aunque el *JIT* ya ha mostrado ser plausible y altamente competitivo en México, este sistema sigue aún restringido a un número reducido de empresas. Esto se debe quizás a que el *JIT* no es un sistema fácil de implementar, y en ocasiones la conversión de una planta a un sistema *JIT* puede ser muy compleja.

Si bien en la medida en que el *JIT* se ha ido extendiendo este sistema se ha ido adaptando a las condiciones particulares de cada país y compañía, la implementación del *JIT* en una empresa implica una ardua tarea; se requieren cambios de actitudes, de formas de trabajo, de relación con los proveedores, de logística, etc, una labor que implica prácticamente un rediseño de la empresa.

No obstante que en los países más desarrollados existen mejores condiciones para la práctica del *JIT*, las empresas de estos países no están exentas de encontrarse con restricciones como lo

son la localización geográfica de los proveedores, la actitud de los trabajadores o la relación con los sindicatos.

En el caso de los países menos industrializados, éstos no solamente se enfrentan a problemas similares a los de los países desarrollados, sino también tienen que salvar dificultades como bajos estándares de calidad, proveedores poco confiables, tecnología deficiente, niveles educativos más bajos y redes de comunicación insuficientes.

Particularmente en México, las principales dificultades que presenta este país para una óptima puesta en marcha del *JIT* son:

- La dificultad de encontrar una red de proveedores confiables.
- La resistencia al cambio de los trabajadores.
- Niveles educativos más bajos.
- Sistemas de comunicación no óptimos.
- Una geografía accidentada.
- Cultura empresarial enfocada a resultados rápidos.
- Restricciones tecnológicas.
- Ausencia de una cultura *JIT*.

Dificultad de encontrar una red de proveedores confiables

En países menos industrializados como es el caso de México los proveedores no son muy confiables. Los estándares de calidad y tiempos de entrega requeridos por una empresa *JIT* no siempre pueden ser cumplidos por proveedores nacionales. Este problema se agrava cuando se observan las deficiencias en las redes de comunicación, lo que origina que los tiempos de transportación en ocasiones no sean los óptimos.

Aunque normalmente los proveedores extranjeros pueden ser más consistentes en su calidad, muchos de éstos no pueden hacer entregas frecuentes, sobre todo si se trata de suplir a empresas de mediano tamaño. Por otro lado, en el caso de suplidores extranjeros se tiene la desventaja de que normalmente la respuesta a problemas de calidad es más lenta.

No obstante sus inconvenientes, normalmente las empresas mexicanas que utilizan *JIT* concentran un gran porcentaje de sus proveedores en el extranjero. De hecho, varias empresas han contratado los servicios de *outsourcings* para controlar la logística de la compra y recepción de materiales. Estos *outsourcings* no solamente organizan las entregas de los proveedores, sino

también agilizan el paso de las mercancías al país, sirven de enlace de comunicación con los proveedores, ayudan a certificar la calidad de los suministros, así como otros servicios que ayudan a optimizar las entregas.

En la siguiente tabla se muestra un análisis comparativo entre proveedores nacionales y extranjeros:

	Ventajas	Desventajas
Proveedores Nacionales	<ul style="list-style-type: none"> - Capacidad de hacer entregas más frecuentes. - Menores costos de transportación. - Respuesta más rápida a problemas de calidad. 	<ul style="list-style-type: none"> - Estándares de calidad más bajos. - Son más informales en sus entregas. - Se requiere mayor tiempo para revisar los materiales.
Proveedores Extranjeros	<ul style="list-style-type: none"> - Buenos estándares de calidad. - Se requiere menor tiempo en la revisión de los suministros. - Alta confiabilidad y puntualidad en las entregas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Menor capacidad de hacer entregas frecuentes. - Costos de transportación mayores. - Respuesta a problemas de calidad más lenta.

Resistencia al cambio de los trabajadores.

El *JIT* exige notables cambios de parte de los trabajadores, éstos deben ser proactivos, deben tener un mayor compromiso para con su empresa, deben ser cooperativos y sobre todo deben asumir una mayor responsabilidad para con su trabajo. Frecuentemente esta cultura laboral no es común en las empresas mexicanas, lo que complica la puesta en marcha del *JIT*.

El miedo al cambio, la falta de compromiso, la corrupción de los sindicatos, la falta de responsabilidad y la costumbre de los hábitos, son algunas de las actitudes de los trabajadores a las que se enfrentan las empresas mexicanas que quieren implementar el *JIT* en sus plantas.

Quizás el problema más difícil para un cambio a *JIT* lo tienen aquellas empresas con trabajadores con muchos años y sindicatos sin compromiso alguno para con sus compañías. Ante estas complicaciones la búsqueda de compromisos bilaterales y la enseñanza de las bondades del *JIT* pueden ser útiles.

Aunque la cultura laboral de los obreros mexicanos no es la más óptima, es importante destacar que finalmente son las actitudes de la dirección las que marcan en gran medida la pauta de la cultura laboral, es por esta razón, que el cambio esencial debe darse en la gerencia de las empresas.

Cabe destacar el hecho de que los trabajadores mexicanos han mostrado tener una excelente eficiencia: muchas de las empresas transnacionales han encontrado que los estándares de calidad de sus plantas en México son mejores que los de otros países.

Niveles educativos más bajos

A diferencia de otros países más desarrollados los niveles educativos en México todavía son muy deficientes; según datos de la UNESCO (1996) en México sólo el 51% de la población en edad de cursar la secundaria estaba inscrita, mientras que en Estados Unidos y Japón este porcentaje era del 90% y 99% respectivamente.

Puesto que no solamente el *JIT*, sino todas las estrategias de manufactura modernas apuntan hacia un nivel educativo mayor, México enfrenta en su bajo nivel educativo uno de sus problemas más urgentes de resolver.

Sistemas de comunicación no óptimos y una geografía accidentada

A pesar de que los medios de comunicación han sido mejorados notablemente en los últimos años, aún se tienen deficiencias en los sistemas carreteros y ferroviarios, sobre todo si éstos se comparan con los de países más desarrollados. Asimismo, estas deficiencias se ven agravadas por la geografía extensa y accidentada del país, lo cual también complica una entrega eficiente de materiales dentro del país.

Estas dificultades referentes a los sistemas de comunicación representan un mayor obstáculo si se considera que la mayoría de las empresas mexicanas reciben sus suministros vía terrestre (en cajas de trailer).

Cultura empresarial enfocada a resultados rápidos.

La puesta en marcha de un sistema *JIT* es un proceso largo, el periodo de implementación normalmente dura entre 1 y 2 años, lo que hace que los beneficios no sean percibidos en un corto plazo, sino más bien a un mediano y largo plazo. Si se considera que un sector muy

importante de los empresarios mexicanos están orientados a obtener resultados a corto plazo, el sistema *JIT* luce poco atractivo para los inversionistas.

Restricciones tecnológicas

Un sistema moderno *JIT* requiere de diversos implementos tecnológicos como lo son un buen sistema de comunicación con los proveedores, un avanzado sistema de logística, un kanban asistido por computadora, así como diversos softwares. Aunque el *JIT* no es un paquete de software, el uso de programas computarizados se hace cada vez más indispensable. Algunos de los aspectos que pueden necesitar el uso de software son el control del almacén, la carga de la línea de flujo y la integración del sistema financiero a la producción.

Estos requerimientos tecnológicos, aunque no son insuperables, pueden ser también un escollo para una implementación del *JIT*.

En lo referente a la automatización es importante señalar que el *JIT* propone como principio la mejora de los procesos en sí, y solamente una vez que éstos ya han sido optimizados se procede a implementar una automatización, procurando que ésta sea simple y flexible. De esta manera, la automatización no debe ser excesivamente costosa ni ser una barrera para la puesta en marcha del Justo a Tiempo.

Ausencia de una cultura *JIT*

El sistema *JIT* no ha sido aún difundido ampliamente en nuestro país haciéndolo menos asequible. Puesto que la mayoría de las empresas *JIT* compran sus suministros primordialmente en el extranjero, esta acción no estimula a que otras empresas mexicanas tiendan a utilizar el Justo a Tiempo, y además no crea una cultura de mayor celeridad y eficiencia en las empresas mexicanas.

Otro aspecto desfavorable es la ausencia de cursos o diplomados especializados en Justo a Tiempo, al consultar la oferta educativa de las principales universidades del país, se encontró que eran pocos los cursos que se ofrecían.

Finalmente la cultura *JIT* está ligada a conceptos tales como planeación, puntualidad, calidad, trabajo en equipo, lealtad y responsabilidad, aspectos que todavía no son muy frecuentes en todas las empresas mexicanas.

El JIT presenta más dificultades para ser puesto en marcha en empresas medianas.

Puesto que el *JIT* es más efectivo cuando es usado para fabricar grandes volúmenes de productos, en el caso de las pequeñas y medianas empresas el uso del *JIT* debe ser visto con más cautela.

Una de las restricciones a las que se enfrentan las medianas empresas está relacionada con los proveedores; normalmente es muy complicado establecer una buena red de proveedores dispuestos a hacer entregas justo a tiempo a empresas medianas, además, el costo de hacer entregas o compras frecuentes puede ser poco rentable para compañías que manejan volúmenes bajos de producción.

En general, el sistema *kanban* funciona mejor en producciones de altos volúmenes con demandas estables.

Puesto que muchas de las fábricas en México pertenecen al sector de la pequeña y mediana empresa, los beneficios y el uso del *JIT* se ven restringidos en este país. No obstante estas consideraciones, aunque muchas empresas no están en condiciones de poner en marcha un sistema integral *JIT*, pueden desarrollar programas que involucren técnicas y estrategias de esta filosofía, de tal forma que podrían gradualmente convertirse a un sistema *JIT*.

7.2 RECOMENDACIONES PARTICULARES PARA UNA EXITOSA IMPLEMENTACIÓN DEL JUSTO A TIEMPO EN MÉXICO.

Puesto que en el capítulo séptimo ya se presentó una guía para la implementación del *JIT*, así como una serie de recomendaciones, esta sección sólo se enfoca a dar algunas estrategias particulares para una implementación exitosa del *JIT* en México tomando en cuenta las restricciones que presenta este país, así como la experiencia de empresas *JIT* en México.

En lo que concierne a la integración de los proveedores, algunas de las acciones que pueden facilitar un sistema *JIT* son:

- Concentrar la transportación en una sola empresa ayuda a ganar en economías de transporte y reforzar las relaciones con los proveedores.
- Cuando se tienen proveedores distantes o fuera del país, es útil contratar los servicios de una unidad consolidadora, para que ésta se encargue de recibir y entregar los suministros a la planta.
- Empresas con volúmenes de compras menores pueden establecer acuerdos con otras compañías para compartir el transporte de materiales, y con eso justificar entregas frecuentes.
- Se pueden contratar *outsourcings* que se responsabilicen de la logística de las compras y entrega de materiales a la línea de producción.
- Hacer una planeación diferenciada del inventario, es decir, mantener un inventario de seguridad menor de los suministros comprados a proveedores más confiables, e inventarios mayores para los provenientes de suplidores menos confiables.
- Es muy importante establecer buenos vínculos de comunicación con los clientes, por ello es útil contar con un enlace de cada proveedor dentro de la misma planta, esto con el fin de solucionar rápidamente cualquier inconveniente. Para el caso de empresas menores se le puede pedir al proveedor que asigne un responsable específico, para que de esta forma se tenga un canal de comunicación en caso de contingencias.
- Puesto que para muchas compañías mexicanas el tener inventarios de uno o dos días es poco factible, se pueden mantener stocks de seguridad de una a tres semanas, cubriendo de esta forma problemas de calidad o incumplimiento de entregas. El punto es reducir el inventario en la medida que esto sea plausible.

Algunas de las estrategias que pueden ser usadas para mejorar aspectos como niveles educativos y cultura laboral son:

- Organizar programas de capacitación.
- Establecer acuerdos con autoridades educativas para integrar a los trabajadores a sistemas de educación abierta. Diversas dependencias de gobierno han organizado programas de este estilo logrando buenos resultados.
- Capacitar a la gerencia y a los jefes de secciones en materia de liderazgo *JIT*, autoestima, dirección proactiva, etc.
- Establecer sistemas de compensación en los que no solamente se refleje la antigüedad del trabajador, sino su productividad, puntualidad, disponibilidad, etc. Este tipo de medidas deben hacerse sobre medidas muy transparentes y cuantificables, ya que de lo contrario estas medidas pueden traer más problemas que beneficios.
- Establecer políticas de reclutamiento objetivas y profesionales
- Buscar acuerdos ganar-ganar con los sindicatos.

Aunque el *JIT* funciona mejor en las grandes empresas, las medianas y pequeñas empresas puede beneficiarse del uso de técnicas como el *poka-yoke*, el *SMED*, el *feedback* y la administración visual. El uso de estas técnicas no solamente las puede ayudar a ser más competitivas, sino puede ser una base para una conversión total en el futuro.

Es importante señalar que el Justo a Tiempo no es solamente una estrategia de reducción de inventario, sino un sistema orientada a la eliminación de todo tipo de desperdicio. Si bien el stock es el más grave de los desperdicios, existen muchos otros desperdicios como el transporte, las operaciones innecesarias, la sobreproducción, las demoras, etc. Es por esta razón que el *JIT* les ofrece a las empresas una enorme gama de acciones de mejoramiento en todas las áreas: recursos humanos, planeación, calidad, sistema de compras, etc.

El Justo a Tiempo es sin duda una poderosa estrategia de producción, por lo que es necesario que empresas, gobierno, sindicatos así como centros de investigación y universidades colaboren en la creación de un ambiente favorable para la implementación del Justo a Tiempo.

Cada uno de estos actores debe asumir su propia responsabilidad: las empresas por su parte deben empezar a reconocer que en muchas ocasiones las mejores inversiones se recuperan al largo y no al corto plazo, asimismo, deben que practicar un liderazgo más humano y respetuoso de la dimensión humana de sus trabajadores. Es muy importante que los sindicatos orienten sus políticas a buscar acuerdos que busquen una relación sinérgica con las empresas.

El gobierno por su parte, debe jugar un rol de facilitador procurando mejores sistemas de comunicación, estableciendo medidas fiscales favorables a la inversión, buscando políticas educativas eficientes y promoviendo organizaciones y centros de investigación orientados al desarrollo de sistemas de producción y de calidad.

En lo que respecta a las universidades y centros de investigación éstos deben dedicar parte importante de su labor a la innovación y difusión de sistemas de producción, un país en vías de desarrollo como México requiere de gente capacitada en áreas tecnológicas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La aplicación del JIT no está limitada a países desarrollados, finalmente el cambio esencial radica en cambiar la visión del trabajo, por lo que el Justo a Tiempo le puede ofrecer a muchas de las empresas mexicanas una poderosa estrategia de competitividad.

Además, siempre existirán formas de eliminar desperdicios. J. Morales C.

CONCLUSIONES

El sistema Justo a Tiempo gira entorno a una idea esencial: *eliminar cualquier desperdicio*, es decir, cualquier acción, material, tiempo o equipo que no sea lo mínimo requerido para llevar a cabo la producción. De forma casi doctrinal, esta idea se extiende como una forma de trabajo a todas las áreas de la empresa: control de calidad, manufactura, recursos humanos, administración, logística, compras, etc, configurándose de esta manera un enfoque global de dirección orientado a la eliminación del desperdicio.

La clave operativa del *JIT* radica en *comprar, producir y vender justo a tiempo*, lo que significa que todos los insumos deben llegar en el momento y cantidad precisa a la línea de producción, de tal suerte que se produzca únicamente lo requerido en tiempo y cantidad por los clientes. Con este accionar se logran eliminar desperdicios como lo son los inventarios, la sobreproducción, los tiempos muertos, el almacenaje, entre otros.

Esta política de producir en tiempos precisos exige una reducción en los ciclos de fabricación, un mejoramiento de procesos, una participación proactiva de los trabajadores, menores errores de fabricación, una simplificación de tareas, alistamientos más rápidos de maquinarias, etc, lo que finalmente le permite a las compañías disminuir sus costos, reducir sus tiempos de entrega, mejorar sus estándares de calidad, flexibilizar sus sistemas de fabricación y mejorar su relación con sus recursos humanos, lo que hace del *JIT* una poderosa estrategia de producción.

Quizás el éxito del sistema de producción Justo a tiempo se debe a que no solamente les ofrece a las empresas un sistema de fabricación más eficiente, sino también una innovadora estrategia de administración. Este carácter dual hace que el Justo a Tiempo termine por modificarle a la empresa tanto su forma de pensar como de actuar; cambio que afecta lo mismo a empleados que a directivos, a proveedores y a todos aquellos entes involucrados dentro la empresa. El Justo a Tiempo prácticamente plantea una nueva visión del trabajo, por lo que no es propiamente un sistema, sino una filosofía de producción.

Si bien en la medida en que la aplicación del *JIT* se ha ido extendiendo, este sistema se ha ido adaptando a las condiciones particulares de cada país y compañía, la implementación del *JIT* en una empresa no es una tarea fácil, lo mismo en países desarrollados como en países menos industrializados; la implementación del *JIT* requiere de grandes cambios de actitudes, de formas de trabajo, de relación con el exterior, de logística, etc, una labor que implica prácticamente el rediseño de la empresa.

En el caso de los países menos desarrollados la posibilidad de adoptar el *JIT* era poco favorable, el *JIT* parecía un sistema propio de países avanzados: excelentes estándares de calidad, vías de comunicación rápidas y eficientes, proveedores confiables, trabajadores competitivos, etc. No obstante este panorama, el *JIT* empezó a emigrar a países en desarrollo, logrando buenos resultados y mostrando que el *JIT* puede ser también una importante estrategia competitiva para países en desarrollo.

Actualmente en México diversas empresas ya tienen programas *JIT* operando en sus plantas, la mayoría de estas empresas comparten las siguientes características:

- Son plantas modernas que cuentan con trabajadores calificados, sistemas de entrega eficientes, buenos estándares de calidad, así como reducidos tiempos de entrega y de inventarios.
- Son predominantemente de capital extranjero, principalmente norteamericano.
- Su mercado de proveedores está integrado prioritariamente por empresas extranjeras, normalmente superior al 50% (en algunas empresas se llegan a niveles del 90%).
- Su producción está dirigida fundamentalmente al mercado internacional y a industrias transnacionales.
- En su mayoría pertenecen a los sectores automotriz e industria maquiladora.

Particularmente en esta tesis se analizó el caso de la General Motors Silao. La investigación hecha en este trabajo nos muestra que esta compañía ha podido implementar un exitoso programa de Justo a Tiempo, alcanzando niveles de aplicación similares a los de países desarrollados.

Al igual que la planta de la Toyota en Japón, en la General Motors Silao se puede observar como los suministros llegan en el tiempo y cantidad en que van a ser requeridos, incluso, existen proveedores que suplen materiales en periodos menores a una hora. Andones, *kanbans*, programas de rotación de personal, inspecciones sucesivas, etc., terminan conformando un auténtico ambiente *JIT de clase mundial* en esta planta.

Los beneficios derivados de la implementación del *JIT* en la industria del país son diversos: disminución de costos, reducción de ciclos de fabricación, altos estándares de calidad, obreros más participativos, inventarios menos costosos, etc. Sin duda, el *JIT* les ha permitido a estas empresas ser más competitivas a nivel internacional.

No obstante sus bondades, el *JIT* aún no es muy popular en la industria mexicana, esto se debe en gran medida a lo complicado que puede ser poner en marcha un programa de tal índole. Específicamente los principales escollos que existen en México para una efectiva puesta en marcha son: bajos estándares de calidad, proveedores poco confiables, bajos niveles educativos, sindicatos y obreros poco comprometidos con las compañías, redes de comunicación insuficientes y falta de cultura Justo a Tiempo.

En este contexto, algunas de las acciones estratégicas que se pueden llevar a cabo para solventar tales dificultades son:

- Concentrar la transportación en una sola empresa, y así ganar en economías de transporte y reforzar las relaciones con los proveedores.
- En caso de tener proveedores distantes o fuera del país, es útil contratar los servicios de una unidad consolidadora, para que ésta se encargue de recibir y entregar los suministros a la planta.
- Hacer una planeación diferenciada del inventario, es decir, mantener un inventario de seguridad menor de los suministros comprados a proveedores más confiables, e inventarios mayores para los provenientes de suplidores menos confiables.
- Empresas con volúmenes de compras menores pueden establecer acuerdos con otras compañías para compartir el transporte de materiales, y con eso justificar entregas frecuentes.
- Establecer buenos vínculos de comunicación con los clientes, para esto es útil contar con un enlace específico para cada proveedor.
- Organizar programas de capacitación, incluso se pueden buscar acuerdos con autoridades educativas para integrar a los trabajadores a sistemas de educación abierta.
- Establecer sistemas de compensación en los que no solamente se refleje la antigüedad del trabajador, sino su productividad, puntualidad, disponibilidad, etc.

Es importante resaltar que el *JIT* opera mejor en grandes compañías, sin embargo, el uso de recursos como *SMED*, fabricación en células, andones, sistemas *poka-yoke* o inspecciones sucesivas, representan una gama de oportunidades para empresas menores, así como pueden ser el punto de partida para reconversiones totales en un futuro.

El Justo a Tiempo no es propiamente una técnica o un sistema, sino una visión del trabajo orientada a eliminar cualquier desperdicio, lo que le deja a cualquier empresa una importante área de acción, finalmente siempre existirán nuevas alternativas para optimizar.

BIBLIOGRAFÍA

Bañegil, Tomás. El Sistema Just in Time y la Flexibilidad de la Producción, Ediciones Pirámide, Madrid, 1993.

Bendell, Tony. The Quality Gurus, Department of Trade and Industry of UK, Inglaterra, 1998.

Bicheno, John. Kanban: the Old and the New, en *Control*, September 1999, 22-25 pp.

Carrillo, Jorge, Hualde, Alfredo. Maquiladoras de tercera generación. El caso de Delphi-General, en Comercio Exterior, Septiembre de 1997.

Crosby, Phiplip, La Calidad no Cuesta, Compañía Editorial Continental, México, D.F., 1987.

Cheng, Edwin, Podolsky, Susan. Just in Time Manufacturing an Introduction, Chapman & Hall, Inglaterra, 1996.

Duncan, Acheson J. Control de Calidad y Estadística Industrial, Alfaomega, México D.F., 1989.

Estrada Castillo, Octavio. Modelo de Sistema de Calidad Total y Metodología para su Implementación, Tesis de Maestría, UNAM, 1994.

Grant, Eugene y Leavenworth. Control Estadístico de Calidad, CECSA, México, 1993.

Hall, Robert. Estrategias Modernas de Fabricación, Tecnologías de Gerencia y Producción, Madrid, 1983.

Hay, Edward J. Justo a Tiempo, Editorial Norma, Colombia, 1988.

Ishikawa, Kaoru. Introducción al Control de Calidad, versión española por Jesús Nicolau Mediana, ediciones Díaz de santos S.A., Madrid, 1994.

Jonson, Richard. Probabilidad y Estadística para Ingenieros, Prentice Hall, México, 1997.

Juran ,J.M. Manual de Control de Calidad, Vol II, McGraw Hill, México 4° edición, 1993.

— Análisis y Planeación de la Calidad, Editorial McGraw Hill, 1994, México.1988.

- Juran y la Planificación para la Calidad , Ediciones Díaz de Santos, Madrid , 1990.
- Juran y el Liderazgo para la Calidad, un Manual para Directivos, Ediciones Díaz de Santos, Madrid, 1990.
- Merli, Giorgio. Dirección de Fabricación Total , Tecnologías de Gerencia y Producción, Madrid, 1991.
- Monden, Yasuhiro. El Sistema de Producción de Toyota , Ciencias de la Dirección S.A., 1988, Madrid.
- Montgomery, Douglas C. Control Estadístico de la Calidad, Grupo Editorial Iberoamérica, México, 1991.
- Moreno Salazar, Fernando. Producción Justo a Tiempo, Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería UNAM, 1993.
- Mould, Gill. Benefits and Problems of JIT Implementation, en *Control*, June 1996, 27-30 pp.
- Nikkan Kogyo Shimbun, Ltd. "Poka-yoke: Mejorando la Calidad del Producto Evitando los Defectos, Productivity Press, 1991.
- O'Grady. Just in Time una Estrategia Fundamental para los Jefes de Producción, McGraw-Hill, Madrid, 1992.
- Ohno, Taiichi. El Sistema de Producción Toyota, más allá de la Producción a gran Escala, Ediciones Gestión 2000, Barcelona, 1991.
- Peón, Joaquín. Calidad y Productividad en México, Revista Calidad Total, FUNDAMECA, México, 1996.
- Robinson, Alan. Enfoques Modernos para la Gestión de la Fabricación: el Sistema Shingo, Tecnologías de Gerencia y Producción, Madrid, 1992.
- Russell, Roberto, Taylor, Bernard. Operations Management , Prentice Hall, USA, 2000.

Sandoval Montes, Gerardo. Método Para la Implantación de la Administración Visual en Empresas de Manufactura en México, Centro de Calidad del ITESM, México D.F., 2000.

Shingo, Shigeo. Tecnologías para el Cero Defectos: Inspección en la Fuente y el Sistema Poka-Yoke, Productivity Press, Madrid, 1990.

— The Sayings of Shigeo Shingo, Key Strategies for Plant Improvement, Productivity Press, Cambridge, 1987.

— El Sistema de Producción Toyota desde el Punto de Vista de la Ingeniería, Tecnologías de Gerencia y Producción S.A, Madrid, 1990.

— Producción sin stocks: el sistema Shingo para la mejora continua, Tecnologías de Gerencia y Producción S.A, Madrid, 1991.

Schniederjans, Marc. Topics in Just in Time Management, Allyn & Bacon, U.S.A., 1992

Schonberger, Richard. Técnicas Japonesas de Fabricación, Limusa, 1992.

Stevenson, William. Production Management, IRWIN, U.S.A., 1996.

Warne, John. Sistema de Producción Justo a Tiempo, McDonnell Douglas Corporation, U.S.A, 1986.

Weiler, Stephan, Zerlenteand, Becky, Maquila Sunrise or Sunset? Evolutions of Regional Production Advantages, Paper presented at the North American Regional Science Association meetings, November 1999.

FUENTES MÁS RELEVANTES CONSULTADAS EN INTERNET

Just-in-Time (JIT), en <http://backofficesystems.com/tips/inventory/jit.htm> ,1999.

Woodhead Industries to open second plant in Mexico, News, en www.ebonline.com, 2001.

Exel and Nissan – Total Production Control, Case studies, en www.exel.com, 2001.

Volkswagen Transfers JIT System from Spain to Mexico, Case studies, en www.exel.com, 2001.

Proyecto FIS Volkswagen de México, Proyectos, en www.gedas.com.mx, 2001.

TAMSA y PEMEX renuevan contrato Justo a Tiempo, Noticias, en www.tamsa.com.mx, 2001.

¿Qué es el Programa de Justo a Tiempo?, Servicios, en www.tamsa.com.mx, 2000.

Designing a Cellular Fabrication Plant, Case Studies and Articles, en www.tcawcm.com, 1999.

General Motors Mejora su Productividad, Terra Autos, en www.terra.com.mx, 2001.

Sistema de Producción, Operaciones, en www.toyota.com

Nuevas Integraciones Industriales en la Industria del Automóvil en México. El caso de la "Fábrica Modular" , Juárez Huberto (trabajos en línea), en www.uom.edu.mx, 2001.

Mitsubishi Case Study FloStor Engineering, en <http://216.185.138.49-index.htm>, 1996

Xerox-Tektronix Case Study, en <http://216.185.138.49-index.htm>, 1996.

ANEXO 1

LA CALIDAD ORÍGENES Y TEORÍAS

*"La calidad no cuesta. No es un regalo pero es gratuita.
Lo que cuesta dinero son las cosas que no tienen
calidad todas las acciones que resultan de no hacer
bien las cosas por primera vez", P. Crosby²³*

²³ Crosby, Philip, "La Calidad no Cuesta", Compañía Editorial Continental, 1987, México, D.F.

1.1 LOS ORÍGENES

El control de calidad en su sentido más elemental tiene sus orígenes en la Edad Media, en esta época los gremios de artesanos exigían que todos los aprendices antes de ser maestros cumplieran con una serie de requisitos y pruebas para que se pudiera garantizar de esta manera la calidad de los productos. Asimismo, era una práctica frecuente de los gremios nombrar a maestros veteranos para que éstos comprobaran la calidad de los productos. En algunos casos cuando las normas de manufactura dictadas por un gremio eran violadas, el artesano era castigado.

La idea de control de calidad en su vertiente moderna apareció en la década de los treinta a partir de las innovaciones hechas por la Bell Telephone Laboratories. Entre 1920 y 1940 la Bell Telephone dio origen a los sistemas modernos de control de calidad cuando organizó un departamento de ingeniería de inspección, el cual tenía como tarea mejorar la producción de artículos defectuosos al igual que motivar la coordinación entre los diferentes departamentos. Entre los miembros más destacados del departamento se encontraban George Edwards, Walter Shewhart, Dodge, Roming y Joseph Juran.

Los trabajos impulsados por la Bell Telephone dieron sus primeros frutos a principios de los años treinta, cuando Walter Shewhart introdujo con éxito el control estadístico de calidad en la industria; en su publicación "Economic Control of Quality of Manufactured Product" (1931), Shewhart exponía una serie de métodos estadísticos para manejar el control de calidad, en los que se incluían los gráficos de control, los cuales serían posteriormente implementados con éxito en la industria mundial.

Otra elemento importante aportado por Shewhart fue el llamado "ciclo de mejoramiento"; En este ciclo se marcan cuatro pasos estratégicos: Planear, Hacer, Verificar y Actuar (PHVA). Estos pasos estaban orientados a resolver problemas de calidad en la empresa buscando incorporar una dinámica de mejora continua dentro de la empresa.

Por su parte, Dodge y Roming dirigieron su principal línea de investigación a la inspección de muestras, dando como resultados más relevantes las llamadas "Sampling Inspection Tables" de Dodge y Roming.

A diferencia de sus compañeros de la Bell Company, Joseph Juran saltará a la fama hasta 1951, cuando su primer libro "Manual de Control de Calidad" fue publicado. Este libro colocó a Juran como uno de los grandes "gurús" del control de calidad. La teoría del Dr. Juran aportó la

idea de que la calidad no se da por accidente, sino debe ser planeada. Juran introdujo la existencia de tres pasos en el despliegue de la calidad: planeación de la calidad, control de la calidad y mejoramiento de la calidad.

LA SEGUNDA GUERRA MUNDIAL, UN RETO PARA LA INDUSTRIA BÉLICA NORTEAMERICANA.

Al igual que diversas áreas del conocimiento, el control de calidad tuvo su despegue a partir de la segunda Guerra Mundial. Durante este periodo la industria bélica norteamericana se encontró en la necesidad de disminuir costos , aumentar la producción y maximizar la calidad de la producción. Con estas nuevas exigencias, la industria armamentista se vio obligada a implementar métodos estadísticos de control de calidad.

Durante la guerra se incrementó la investigación en el campo del control de calidad. En esta época fue destacada la labor desarrollada por el grupo de investigación organizado en la Universidad de Columbia, conformado por académicos y miembros de organismos de investigación de todo el país. Este grupo asesoró a la armada norteamericana al igual que a la Oficina de Investigación y Desarrollo. Entre las contribuciones más importantes hechas por este grupo está la elaboración de manuales de inspección de muestras por atributos, los cuales fueron publicados posteriormente como "Sampling Inspection" por Mc Graw Hill (1948). Otra avance significativo se dio en el desarrollo del muestreo secuencial impulsado por el Profesor Wald.

Este decidido apoyo a la implementación del control de calidad originó que en 1941 y 1942 se promulgarán diferentes normas de calidad en la industria militar: la Z1.1 Guía para el control de calidad (1941), la Z1.2 Método del gráfico de control para analizar datos (1941) y la Z1.3 Métodos de gráficos para controlar la calidad durante la producción (1942).

Los beneficios obtenidos por la aplicación de la estadística en el control de calidad hicieron que muchas de las investigaciones desarrollada en esta área fueran ocultados por el gobierno norteamericano, con el objeto de que los países del eje no se vieran beneficiados por éstas.

Otro personaje importante en el mejoramiento de la industria militar fue Edward Deming, (1900-1993) un doctorado de Física en Yale, quien había establecido contacto con Shewhart en el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos a finales de los años treinta. En esa época Deming aprendió de Shewhart lo referente a los métodos de control. En 1942 trabajando para la

industria bélica, Deming introdujo nuevos conceptos de control de calidad a la industria armamentista.

Deming innovó la idea de que el control de calidad no se limitaba al mejoramiento de procesos de manufactura, sino que el control de calidad debería extenderse a los niveles gerenciales.

Los avances que se obtuvieron en la industria bélica sirvió para que estas nuevas técnicas de control de calidad se extendieran en muchas empresas de los Estados Unidos. En 1946 se fundó la Sociedad Americana para el Control de Calidad (ASQC). Los gráficos de control fueron usados ampliamente y el uso de métodos estadísticos para el control de calidad se extendió a bancos, líneas aéreas, grandes almacenes y empresas manufactureras.

En Gran Bretaña también se dio un importante desarrollo en la investigación del control de calidad. En 1935 se utilizaron artículos sobre control de calidad escritos por E.S. Pearson como base para establecer la Norma Británica BS 600. Mas tarde en la BS 1008 se adoptaron las normas norteamericanas Z1.

Otros países europeos, incluyendo Francia, Suiza, Checoslovaquia y Alemania occidental comenzaron a poner en práctica el control de calidad en 1963, cuando fueron invitados profesores norteamericanos a Europa. En 1965 se fundó la Organización Europea par el Control de la Calidad.

LA REVOLUCIÓN ORIENTAL; JAPÓN, UNA INDUSTRIA QUE GIRA ALREDEDOR DE LA FILOSOFÍA DE LA CALIDAD

Antes de que terminara la segunda Guerra Mundial las normas británicas de calidad BS 1008 y BS 600 fueron llevados a Japón, de hecho, cuando la guerra estaba terminando algunos matemáticos japoneses ya habían puesto en práctica las normas británicas de calidad.

Terminada la Segunda Guerra Mundial, Japón se enfrentaba al gran reto de reconstruir una nación. Los entes de producción debían que ser reactivados y además se debía cambiar la fama que tenían los productos japoneses por su mala calidad. Estos factores aunados a los avances que se observaron en Norteamérica motivaron a que en 1946 se crearan la Unión de Científicos e Ingenieros Japoneses (JUSE) y el Grupo de Investigación de Control de Calidad (GICC) con el fin de fomentar el estudio y la enseñanza de los métodos de control de calidad.

En 1950 la JUSE invitó al Dr. Deming de los Estados Unidos para que dirigiera un seminario de control de calidad dirigido a la alta dirección de empresas, a la gerencia y a los técnicos. Aunque el mensaje del Dr. Edward Deming se centró en el control estadística, también puntualizó la existencia de un componente humano en el control de calidad. Retomando las ideas de Shewhart, Deming introdujo a la industria japonesa un enfoque sistémico de mejoramiento continuo de calidad: el PHVA (Planear, Hacer, Verificar y Actuar) . La visita de Deming motivó a que se avanzara en la implementación del control de calidad en la industria.

Aunque la visita de Deming originó un notable interés de la industria japonesa por el control de calidad, el avance en su implementación no fue instantáneo. El control de calidad padeció varios problemas; el primero fue que se hizo demasiado hincapié en los métodos estadísticos y esto fomentó la impresión de que el control de calidad y el control estadísticos eran difíciles. Por otro lado, el énfasis en la normalización condujo a la tendencia de que el control de calidad se llevara a cabo sólo formalmente. La alta dirección y los directores de departamento, por su parte, no estaban entusiasmados con el control de calidad.

Con las ganancias obtenidas por la venta de las memorias de las conferencias dictadas por Deming y como reconocimiento a su labor, en 1951 la JUSE fundó el premio Deming, el cual buscaba premiar anualmente a la persona cuya contribución se considere la más destacada en la investigación teórica y en la aplicación práctica de los métodos estadísticos en el control de calidad.

En 1954 el Dr. J. M. Juran fue invitado a Japón para que diera un seminario a ejecutivos y directores de departamento. El conocimiento vertido por Juran hizo que el control de calidad dejara de ser sólo visto como una técnica estadística, sino que se convirtió también en una herramienta de gestión. Este hecho marcó el principio de una transición gradual desde el control estadístico de calidad al control de calidad total, y , a su vez, condujo a una promoción del control de calidad en el que debían participar todos los departamentos y todos los empleados.

En 1960 la JUSE editó una publicación titulada "Texto de Control de Calidad para Encargados", luego en abril de 1962 lanzó un periódico llamado "Control de Calidad para el Encargado", el que más tarde se le renombró "Círculos de Calidad". Estas acciones impulsaron la creación de los llamados círculos de calidad, los cuales ya se habían propuesto en Estados Unidos.

Los círculos de calidad estaban conformados por un grupo de trabajadores, entre 5 y 10, los cuales se reunían regularmente con el objeto de discutir medidas para el mejoramiento de la

empresa, al igual que buscaban alternativas para incentivar el desarrollo humano de los trabajadores y su satisfacción laboral.

Uno de los principales pioneros de los círculos de calidad fue un profesor de la Universidad de Tokio, el Dr. Kaoru Ishikawa (1915 –1989). Ishikawa se convirtió en una de las figuras más importantes en el desarrollo del control de calidad del Japón.

Parte importante del trabajo elaborado por el Dr. Ishikawa se centró en el desarrollo de técnicas estadísticas; sus principales aportaciones en esta área fueron el uso de los diagramas de Pareto para priorizar medidas de mejoramiento de calidad, la introducción de métodos efectivos para la recolección de datos y quizás uno de sus aportaciones más populares fue el uso del diagrama causa – efecto o diagrama de pescado, el cual fue concebido como una herramienta para asistir a grupos de calidad con el fin de buscar y documentar las causas de variación de la calidad en la producción.

A partir de la década de los sesenta, en la industria japonesa se extendió rápidamente la visión de que el control de calidad era una medida inherente a la buena producción de una empresa.

Además de Ishikawa otras figuras importantes en el desarrollo del concepto japonés de calidad fueron el Dr. Geni Taguchi (1924) y Shigeo Shingo (1909).

La metodología de Taguchi se dirigió a la optimización de la producción al igual que a la jerarquización de los procedimientos en la producción. A diferencia de la perspectiva occidental, Taguchi no parte de la idea de calidad, sino del concepto de pérdida de calidad. El uso de herramientas estadísticas y en particular de la teoría de diseño de experimentos fueron esenciales en el desarrollo de la metodología de Taguchi.

La repercusión de la labor de Taguchi en Japón fue sorprendente, fue merecedor del premio Deming de literatura de control de calidad en 1951, 1953 y 1984. Después de la visita hecha por Taguchi en 1980 a Estados Unidos, cada vez más empresas estadounidenses incorporan en su control de calidad las metodologías de Taguchi.

Por su lado, Shigeo Shingo introdujo el concepto “poka-yoke” (cero defectos) al igual que desarrolló métodos de sistemas de inspección. En términos generales la teoría de Shingo propone parar el proceso cuando ocurre un defecto; con ello se busca definir la causa del mismo y prevenir la ocurrencia nuevamente.

Las ideas innovadas por Shingo fueron aplicadas con éxito en las industrias japonesas, teniendo como principal arquetipo las mejoras implementadas en la producción de Toyota. Shingo abrió un camino para reducir los defectos, mejorar la calidad y una guía estratégica para el mejoramiento continuo. De igual manera, como se ha visto a partir de sus escritos se desarrolló la técnica Justo a tiempo (JIT), la cual tiene como filosofía la eliminación total del desperdicio en la producción, con un compromiso de calidad total en la misma.

El control de calidad en Japón se ha convertido en una pieza esencial en su paradigma de producción. Mientras que en los años treinta y cuarenta los productos japoneses eran calificados como de mal calidad, hoy estos productos se distinguen por su alta calidad.

LAS NUEVAS CORRIENTES

En la década de los ochenta las empresas norteamericanas sufrieron los efectos de la buena administración japonesa; los productos japoneses comenzaron a invadir el mercado americano ofreciendo productos altamente competitivos. Muchas empresas estadounidenses se habían vuelto ineficientes y la calidad de sus productos era inferior a los fabricados por empresas japonesas. La administración de la industria norteamericana se había enfocada al aérea financiera dejando en segundo término el control de la producción. Estos factores originaron una severa crisis en los Estados Unidos.

Ante tales circunstancias, muchos corporativos americanos volcaron su atención al oriente, redescubriendo el control de calidad. Hasta 1980, antes de que apareciera en un documental de la NBC, Deming era un desconocido en su país. En este contexto, las empresas norteamericanas se vieron en la necesidad de reintroducir y adaptar a sus compañías los conceptos del control de calidad desarrollados en oriente.

Sin duda, un pionero en la reconstrucción del modelo administrativo americano fue Philip Crosby, autor de los bestsellers: "La Calidad es Gratis" (1979) y "Calidad sin Lágrimas" (1984). Los conceptos de "Hágalo bien la primera vez" y "Cero Defectos" han sido íntimamente ligados con el ideario de Crosby.

Para Crosby *cero defectos* no significa que la gente no va a cometer errores, sino que la compañía no debe partir de la expectativa de que se van a cometer errores. El control de calidad es definido por Crosby por cuatro puntos: 1) La calidad es una conjunción de requerimientos, 2) el sistema para originar la calidad es la prevención, 3) El desempeño debe ser cero defectos y 4) La medición de la calidad es el costo de no conformarse.

Quizás una de las corrientes que ha tenido más eco en la teoría del control de calidad en los últimos años es la inducción del liderazgo como facilitador de la calidad. En esta línea de pensamiento ha sobresalido la labor de Tom Peters, un investigador de las administraciones norteamericanas. En su libro "Pasión por la excelencia" (1985), Tom Peters visualiza al liderazgo como el centro del proceso de mejoramiento de calidad, Peters orienta el control de calidad hacia el compromiso y satisfacción del cliente.

EL CONTROL DE CALIDAD EN MÉXICO.

La aplicación del control de calidad en México tiene sus orígenes en 1954 cuando fue creado el Centro para la Producción Industrial (CIP) en la ciudad de Monterrey. Años después en 1966 se creó el Centro Nacional para la Producción, que posteriormente dio origen en 1976 al Instituto Nacional para la Productividad (INAPRO). Aunque en la década de los sesenta se comienzan a aplicarse algunos programas para incentivar la calidad como el programa cero defectos y el uso del control estadístico de calidad, esta aplicación fue limitada al igual que sus logros.

En 1973 se funda el Instituto Mexicano de Control de Calidad (IMCCA), ese mismo año este instituto organiza el primer congreso nacional de control de calidad con la participación de técnicos especializados, ingenieros, empresarios y funcionarios de gobierno.

Motivados por la crisis económica de 1982 y el ingreso de México al GATT (Acuerdo General sobre Aranceles y Comercio), el medio empresarial inicia una decidida implementación de diversas acciones para mejorar la productividad y la calidad de sus productos. Entre estas acciones resaltaba el programa de círculos de calidad en México, los que siguiendo la experiencia japonesa se dirigían específicamente al personal operativo.

Aunque se registraron avances en la difusión de herramientas estadísticas para el control de calidad entre los operativos, los resultados globales no fueron muy ricos, en primer término el nivel educativo de los operativos era inferior en México en relación a Japón, además, los círculos de calidad no se ampliaron al personal de gerencia, el cual no siempre acertaba con las mejores estrategias. A partir de esta primera experiencia, se observó la necesidad de integrar a la gerencia en la filosofía de la mejora de calidad.

En 1982 la IMECCCA organizó la Primer Convención Nacional de Círculos de Calidad y el Primer Congreso Latinoamericano de Control de Calidad. En 1983 también se llevó a cabo el Segundo Congreso Asia – Pacífico de Control de Calidad.

La FUNDAMECA (Fundación Mexicana para la Calidad) fue fundada en 1987 y a partir de su fundación se ha convertido en la promotora más importante del control total de calidad en el país; en 1989 y con cooperación de la SECOFI fueron los creadores del Premio Nacional de la Calidad. La FUNDAMECA ha trabajado con empresarios, académicos y líderes sindicales.

El premio Nacional de Calidad fue diseñado siguiendo los lineamientos del Premio Deming de Japón y del Malcolm Baldrige de los Estados Unidos. En el premio se incluyeron categorías para pequeñas empresas y para el sector gubernamental. El premio Nacional de Calidad fue el segundo de su categoría introducido en occidente, incluso se creó dos años antes que el Premio de Calidad Europeo.

Con la firma del Tratado de Libre Comercio con Estados Unidos y Canadá, diversos sectores del país han promovido el control de calidad en todas las áreas productivas del país, tanto a nivel de producción como al de certificación con normas estándares como las de ISO.

1.2 W. EDWARD DEMING

Edward Deming (1900 - 1993) es uno de las figuras más importantes en el desarrollo de la teoría del control de calidad. Después de obtener el grado de doctor en física en 1928, Deming trabajó para el Gobierno de Estados Unidos por varios años, enfocando su labor en el uso de técnicas estadísticas para la toma de muestras.

Como miembro de la Oficina Nacional de Censos de los Estados Unidos fue el responsable de organizar el censo de 1940. En la organización de este censo, Deming tuvo la oportunidad de integrar exitosamente técnicas estadísticas aprendidas de Shewhart de mejoramiento de calidad. No obstante de que Deming dictó una serie de conferencias para difundir los beneficios del control estadístico, las ideas de Edward no fueron bien recibidas por los ejecutivos norteamericanos.

Después de la Segunda Guerra Mundial Deming fue enviado a Japón para asesora el censo en ese país. En este viaje Deming tuvo contacto con la JUSE (Unión de Científicos e Ingenieros de Japón). Edward les mostró a los miembros de la JUSE los beneficios del control de calidad estadístico implementado por Shewhart en la Bell Telephone.

La participación de Deming con la JUSE motivó a los ejecutivos japoneses para que implementaran las teoría del control estadístico de calidad en sus empresas, siendo esto una pieza fundamental en la reconstrucción de las industrias japonesas.

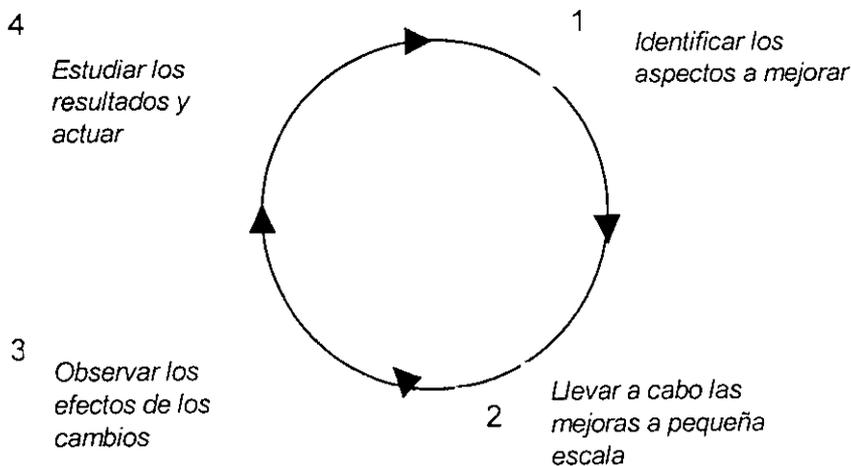
A pesar de su fama en oriente, Deming era un desconocido en su nación, hasta que en 1980 un reportaje de la NBC lo mostró como uno de los artífices del éxito industrial japonés.

Aunque primordialmente la teoría de Deming radica en el control estadístico, una idea esencial en el pensamiento de Deming, es su concepción de que el control de calidad no sólo se reduce a los procesos de manufactura, sino también se extiende a otros procesos. Los gerentes, dice Deming, deben entender la diferencia entre causas especiales y causas comunes. Las causas especiales en la variación en un producto o de un proceso son aquellas que pueden ser relacionadas fácilmente a cambios de operador, turno o procedimiento; estas causas pueden ser fácilmente identificadas y solucionadas por los operadores locales. Por su lado, las causas comunes son aquellas que pueden ser eventualmente identificadas por los operadores, pero sólo resueltas por gerentes.

Edward enseñó que el consumidor es la parte más importante en la línea de la producción. Además, Deming propone un enfoque sistemático para resolver problemas: PHVA: planear, hacer, verificar y actuar.

Una síntesis del trabajo de Deming puede ser encontrado en su llamado "Sistema de Conocimiento Profundo", el cual describe cuatro partes relacionadas entre sí:

1. **Aprecio por un sistema.** Existe la necesidad de que la dirección visualice la relación entre funciones y actividades. Cada uno debe entender de que el término objetivo debe significar beneficio para el trabajo, el ambiente, los clientes y los proveedores.
2. **Conocimiento de la Teoría Estadística.** En este punto se incluye la necesidad de conocer variaciones, gráficas de control, interacciones etc. Todo esto debe ser entendido para asegurar un efectivo liderazgo y trabajo en equipo.
3. **Teoría del Conocimiento.** Todos los planes requieren predicciones basadas en las experiencias del pasado. Una serie de éxitos no pueden ser copiados de manera efectiva, si no han sido correctamente entendidos.
4. **Conocimiento de la Psicología.** Es importante entender las interacciones humanas. Las diferencias entre los individuos deben ser utilizadas por los líderes para optimizar el trabajo. La gente tiene motivaciones intrínsecas para tener éxito en diferentes áreas.



Ciclo de Deming para el mejoramiento de la calidad

1.3 JOSEPH M JURAN

"Es evidente que la competitividad en calidad para los próximos años requiere un nuevo enfoque. El nuevo enfoque básico se centra en el concepto de aumentar el plan empresarial estratégico para incluir los objetivos de calidad". J.M. Juran²⁴

El Dr. Joseph Juran (1904) empezó su trabajo profesional como ingeniero de la Bell Telephone Laboratories. En 1951 publicó su primer libro "Manual de Control de Calidad" libro que lo convirtió en una figura de la planeación de la calidad. Al igual que Deming fue invitado por la JUSE para impartir seminarios de control de calidad a ejecutivos de Japón.

Las publicaciones de Juran rápidamente se extendieron en toda la industria del Japón, motivando esto la organización de seminarios y cursos de capacitación de calidad en Japón. Su amplia contribución al desarrollo de las industrias japonesas lo hicieron ganador de la Orden del Sagrado Tesoro, la condecoración más importante que es entregada a un ciudadano no japonés.

Para el Dr. Juran la calidad no es un accidente, sino la consecuencia de una buena planeación. Juran define a la calidad como la satisfacción del cliente, los cuales pueden ser tantos externos como internos, la satisfacción del cliente está dada por dos factores: las características del producto y la calidad del mismo.

La administración de la calidad es pensada por Juran como un proceso generado por tres actividades interrelacionadas entre sí: planeación de la calidad, control de la calidad y mejoramiento de la calidad. Esta trilogía debe ponerse en funcionamiento promoviendo un ambiente de calidad en todos los sectores de la compañía.

La planeación de la calidad está encargada de desarrollar los productos y procesos requeridos para satisfacer las necesidades de los clientes. Por su parte, el control de calidad debe evaluar el comportamiento real de la calidad y compararlo con los objetivos, para que de esta manera se puedan hacer los ajustes necesarios. Finalmente, la mejora de calidad tiene por objetivo elevar las cotas de calidad a niveles superiores a los actuales, para esto se deberá establecer la infraestructura para conseguir una mejora de calidad anualmente así como identificar necesidades concretas para mejorar.

Los elementos claves para implementar una estrategia de calidad en una compañía son: identificar a los consumidores y las necesidades de los mismos, establecer metas de calidad, establecer medidas de calidad, planear procesos capaces de lograr las metas de calidad bajo las

condiciones de operación y finalmente facilitar una producción que tenga como objetivo un constante mejoramiento y una reducción de errores en la producción.

A diferencia del enfoque japonés, Juran considera que esencialmente la responsabilidad de la calidad está en la dirección y no en los operadores. Para Juran la mayoría de los problemas de calidad son originados por una mala dirección; más del 80% de los problemas en la calidad son controlados por los directivos. La capacitación en una empresa debe iniciar por la alta gerencia.

Son los directivos los responsables de elaborar las políticas de la empresa, el establecer y promover los objetivos de calidad, el proporcionar los recursos necesarios, el establecer una infraestructura organizativa adecuada, el revisar los progresos realizados al igual que dar reconocimiento y promover las recompensas al personal sobresaliente.

En este contexto de ideas los círculos de calidad son poco efectivos, de hecho, Juran considera que los círculos no son buenas medidas para el sistema de producción occidental.

El control de calidad es un proceso cíclico que se retroalimenta; Juran distingue siete pasos universales en este proceso:

- 1 Selección del sujeto de control.
- 2 Elección de una unidad de medida.
- 3 Establecimiento de una meta para el sujeto de control.
- 4 Creación de un sensor que pueda mediar el sujeto de control en términos de la unidad de medición.
- 5 Medición del desempeño real.
- 6 Estudio de la diferencia entre el desempeño real y el ideal.
- 7 Tomar acciones correctivas para eliminar la diferencia.

El control está dirigido al cumplimiento de las metas y a la prevención de cambios adversos, es decir, a mantener el statu quo.

²⁴ Juran, J. M., "Juran y el Liderazgo para la Calidad, un Manual para Directivos", Ediciones Díaz de Santos, 1990, Madrid.

1.4 ARMAND FEIGENBAUM

Armand Feigenbaum es el innovador del Control de Calidad Total. La primera edición de su libro "Control de Calidad Total" fue publicado cuando todavía era un estudiante de doctorado del MIT. Su trabajo fue descubierto por los japoneses en 1950, en la misma época en que Juran visitó Japón. De 1958 a 1968 Armand fue director mundial del área de control de calidad y manufactura de la General Electric. Posteriormente fue nombrado presidente de la General Systems Company Inc.

En su libro "Control de Calidad: Principios, Prácticas y Administración", Feigenbaum pasa del concepto primario de control de calidad como métodos técnicos, a una visión del control de calidad como un método administrativo.

Para Feigenbaum el control de calidad es un sistema efectivo para coordinar el mantenimiento de la calidad así como su mejoramiento, permitiendo producir bajo los menores costos que permitan la satisfacción total del cliente. La palabra control representa para un director una herramienta con cuatro pasos:

- 1 Especificar los estándares de calidad.
- 2 Medirse a partir de estos estándares.
- 3 Reaccionar cuando los estándares no son cumplidos.
- 4 Planear mejoras en lo estándares.

El control de calidad es visto como un elemento en todas las fases del proceso industrial, desde la especificación del cliente, el diseño, el ensamble y hasta la venta. Se requiere un control efectivo sobre todas las fases en la producción, este control puede ser clasificado como

- Control de nuevos diseños
- Control de material entrante
- Control de la producción
- Estudio de procesos especiales

Feigenbaum señala que si bien los métodos estadísticos son útiles en el control de calidad en ciertos procesos, estos métodos son sólo una parte del sistema de control de calidad. Es importante que el control de calidad sea un factor que motive el compromiso e interés por la calidad de parte de los operadores.

Los directivos deben considerar que el control de calidad no es una actividad temporal para reducir costos. Desde el punto de vista humano, el control de calidad en una organización es visto como:

- Un canal para la comunicación de la información de la calidad del producto
- Un medio de participación en un programa total de calidad

Para Feigenbaum la calidad es uno de los aspectos más importantes en el éxito de las organizaciones. La calidad es esencialmente una forma de manejar una organización.

El control total de calidad (CTC) es concebido como una herramienta para el manejo de la calidad. Los programas de CTC son altamente efectivos en la reducción de costos, ya que motivan una mejora en el nivel de satisfacción de los clientes, reducen costos de producción, disminuyen pérdidas al igual que costos de almacenaje. El control de total de calidad es entonces una integración de estructuras laborales, técnicas y administrativas que buscan coordinar las acciones de los individuos, las máquinas y la información de una compañía para encontrar las mejores y más prácticas formas de asegurar la satisfacción de los clientes tratando de reducir los costos.

Feigenbaum resalta diez puntos, los cuales definen el control de calidad total:

1. La calidad es un proceso en toda la empresa.
2. La calidad es lo que el cliente dice que es.
3. La calidad y el costo son una suma no una diferencia.
4. La calidad requiere del trabajo individual como del grupal.
5. La calidad es una forma de administrar.
6. La calidad y la innovación son mutuamente dependientes.
7. La calidad es una ética.
8. La calidad requiere continuas mejoras.
9. La calidad es el camino más efectivo para la productividad.
10. La calidad es implementada con un sistema global que conecta clientes con proveedores.

El Dr. Feigenbaum indica que hay tres puntos claves para lograr el liderazgo de la calidad en los noventa: 1) un claro entendimiento de los mercados internacionales y como la gente compra en estos mercados, 2) tomar una estrategia de calidad que provea la satisfacción de los clientes, 3) transmitir un ambiente de calidad en toda la compañía buscando establecer los objetivos para el éxito de la calidad.

1.5 DE KAORU ISHIKAWA

“El Control de calidad moderno constituye una revolución en el pensamiento directivo, y su puesta en práctica en toda una empresa puede mejorar espectacularmente su cultura productiva... Si todas las naciones desempeñan su papel en el fomento del control de calidad, el mundo hallaría la paz y sus habitantes podrán vivir juntos, felices y armoniosamente”²⁵

Kaoru Ishikawa (1915-1989) es uno de los personajes más importantes en la filosofía del control de calidad. Doctor en ingeniería y profesor en la Universidad de Tokio, Ishikawa es ampliamente conocido por la implementación de los llamados círculos de calidad.

Para Ishikawa el control de calidad está definido como el desarrollo, diseño, producción, comercialización y prestación del servicio de productos y servicios con una eficacia del coste y una utilidad óptima, y que los clientes compararán. La calidad para Kaoru está constituida por cuatro elementos: características del producto, coste, entrega y servicio. Es decir, el término de calidad no se reduce a la calidad en el producto, sino se extiende a la venta del mismo, a la calidad en la dirección, en el trabajo operativo y en todas las áreas de la compañía.

La calidad y el cliente son dos conceptos íntimamente ligados; una buena calidad según la perspectiva de Ishikawa deberá estar dirigida a la satisfacción de los clientes en función a factores tales como el costo y el uso previsto del producto.

El término mejoramiento no es ajeno al control de calidad, de hecho, ambas ideas deben estar siempre relacionadas, es vital que todas las personas de las empresas piensen constantemente en los posibles adelantos y en una mejora continua.

A partir de 1962 se inició en Japón el funcionamiento de los círculos de calidad, siendo Ishikawa uno de los principales promotores de éstos. Los círculos de calidad están conformados por un grupo compacto de personas de la misma área de trabajo que desempeñan actividades de control de calidad voluntariamente. El objetivo fundamental de los círculos es el autodesarrollo de los integrantes del grupo, los cuales conjuntamente analizan nuevas alternativas para mejorar la calidad en sus lugares de trabajo.

²⁵ Ishikawa Kaoru, , “Introducción al Control de Calidad”, ediciones Díaz de santos S.A., 1994, Madrid España.

La filosofía de los círculos de calidad está cimentada en tres puntos:

- 1 Contribuir al mejoramiento y desarrollo de la empresa
- 2 Fomentar el respeto de las relaciones humanas y construir un espacio de trabajo agradable.
- 3 Ejercitar las capacidades de las personas y sacar a la luz todo su potencial

Puesto que para Kaoru la calidad debe ser evaluada y cuantificada con precisión, su trabajo cobra particular atención en las técnicas de control estadístico. En un nivel de complejidad simple, Ishikawa desarrolló el uso de gráficas de control, diagramas de dispersión, toma de muestras, diagramas de Pareto entre otras técnicas útiles para el control y medición de la calidad.

Una de las herramientas más famosas introducidas por Ishikawa es su llamado diagrama de causa - efecto. Este diagrama es una herramienta útil para encontrar y organizar las causas de variación en la calidad de un producto, así como para establecer las diferentes relaciones entre las causas.

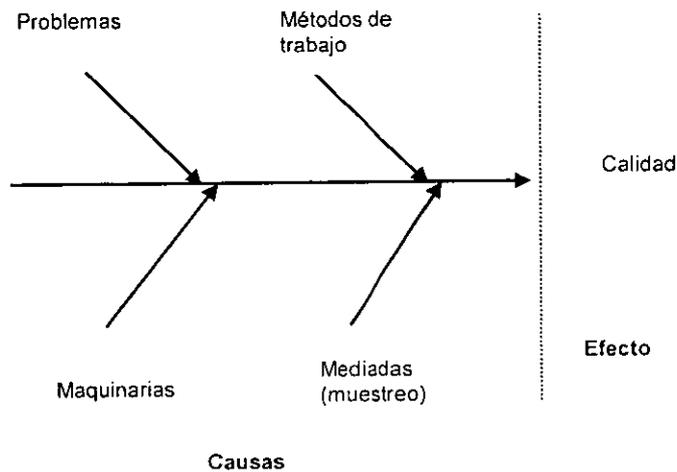


Diagrama de Ishikawa

1.6 PHILIP B. CROSBY

Crosby es un graduado de la Western Reserve University. Después de su servicio en la Guerra de Corea, se desempeñó como inspector de línea en varias empresas. En la ITT trabajó 14 años como vicepresidente y director de calidad. En 1979 publicó su libro "La Calidad no Cuesta", el cual se convirtió en un bestseller. A partir del éxito de su primera publicación Crosby decidió formar un centro de enseñanza en Florida para difundir su teoría del control de calidad. En 1984 publicó su segundo bestseller "Calidad sin Lágrimas".

Sin duda, el nombre de Crosby está íntimamente asociado a dos conceptos: "hágalo bien la primera vez" y "cero defectos". Para Crosby la calidad es un conjunto de requerimientos establecidos por la propia compañía, los cuales han sido propuestos a partir de las necesidades de los clientes.

A diferencia de otros autores, Crosby no considera que los trabajadores sean responsables en primera instancia de una pobre calidad, sino en realidad los responsables son los directivos. En su enfoque, los directivos marcan la pauta de la calidad y los trabajadores siguen los pasos de éstos. Crosby puntualiza de manera sobresaliente la responsabilidad casi total que tiene los directivos sobre la calidad.

Cero defectos no significa que la gente nunca cometa errores, sino que la compañía no debe partir de la expectativa de que se cometan errores.

El proceso de calidad de Crosby está basado en cuatro principios:

- 1 La calidad está definida como una serie de requerimientos, no como un bien.
- 2 El sistema para motivar la calidad es la prevención, no la evaluación.
- 3 El desempeño estándar debe ser cero defectos.
- 4 La medida de la calidad debe ser el precio de no conformarse.

En materia organizacional Crosby resalta la responsabilidad de la empresa de establecer sus políticas de calidad, y de los gerentes asegurarse de que los empleados entiendan que la política de calidad de la compañía es hacer las cosas con exactitud de acuerdo a los requisitos, para que se cumpla con lo que la compañía o los clientes requieran en realidad.

Según Crosby la función de calidad deberá contar con personal a nivel profesional calificado y sus responsabilidades deberán incluir: 1) Una inspección minuciosa del productos a todos

niveles, 2) verificar la calidad del proveedor, 3) Diseñar una ingeniería de calidad (análisis de datos, auditorías de calidad, planeación, aprobación de productos, procesos y procedimientos), 4) Mejoramiento de la calidad, 5) establecer lazos con el consumidor y 6) procurar que el producto sea seguro para el cliente.

En su libro "La Calidad no Cuesta", Philip propone 14 pasos estratégicos para implementar un mejoramiento de la calidad en una organización:

- 1 Establecer claramente que la dirección es la responsable de mejorar la calidad.
- 2 Formar un equipo de calidad con representantes de cada departamento.
- 3 Medir el estado de calidad en toda la compañía.
- 4 Evaluar el costo de calidad y utilizarlo como una herramienta de dirección.
- 5 Crear conciencia entre los trabajadores de los beneficios de la calidad.
- 6 Tomar medidas para corregir problemas identificados.
- 7 Establecer un comité para promover entre los empleados el programa cero defectos.
- 8 Capacitar a los supervisores para que entiendan su función dentro del mejoramiento de la calidad.
- 9 Establecer un día de cero defectos para reforzar el nuevo concepto y reforzar el compromiso de los empleados.
- 10 Fomentar a los individuos para que establezcan metas de mejoramiento para ellos y para sus grupos.
- 11 Procurar que los empleados le comuniquen a sus gerentes los obstáculos que están teniendo para cumplir con sus metas de mejoramiento.
- 12 Reconocer y premiar a los miembros más destacados.
- 13 Establecer consejos de calidad para discutir las acciones para mejorar el programa de calidad implantado.
- 14 Repetir constantemente el proceso de calidad, para hacerlo parte de la organización.

1.7 SHIGEO SCHINGO

Los CERO defectos pueden conseguirse por medio de un control de calidad cero (ZQC), es decir, con la inspección en la fuente que origina el defecto, S. Shingo²⁶

Shigeo Shingo es quizás una de las figuras menos conocidas en occidente, pero sin duda sus ideas han impactado notablemente el desarrollo del control de calidad en todo el mundo. Shingo (1909-1990) se graduó de ingeniero mecánico en 1930 de la Universidad Técnica de Yamanashi. Después de trabajar para la Taeipei Railway en Taiwán, se hizo consultor en 1945 con la Asociación de Directivos de Japón. Posteriormente trabajó como asesor para diversas empresas en diferentes partes del mundo, destacando su labor realizada para la Toyota Motor Co, al igual que para la Mitsubishi,.

Shigeo junto a Taiichi Ohno desarrollaron las bases del sistema de producción Toyota, el cual significó toda una revolución en el manejo del control de la calidad.

La visión de Shigeo representa prácticamente una nueva filosofía de producción en la que la calidad juega un elemento esencial. A diferencia de otros autores Shigeo considera que en la práctica existe la posibilidad de producir sin defecto alguno; en su libro "Tecnologías para el Cero Defectos", Shingo desarrolla el concepto del poka-yoke (a prueba de errores), en el cual la idea fundamental es que el control de calidad debe estar orientado a eliminar todas las posibles causas de defectos en la producción, es decir, el control de calidad no debe eliminar los resultados de una mala producción, como se hace en el control estadístico, sino evitar que se produzca sin calidad.

Aspectos claves para producir sin defectos es un eficiente monitoreo en las diferentes etapas de la producción, tratando de identificar las posibles causas de errores, al igual que promover adecuaciones en la maquinaria, de tal manera que su diseño impida o alerte a los operadores en caso de que se estén cometiendo errores (técnicas poka-yoke).

Para Shingo una mejora en la calidad motiva una reducción de costos, el producir con calidad no debe significar un aumento en el costo del producto, sino al contrario una disminución en el mismo. Una producción con calidad significa cero pérdidas por devoluciones y un sistema de producción más eficiente, lo que finalmente incide en una disminución de costos para la compañía, aspecto que debe ser reflejado en un menor costo de venta del producto y mayores ganancias para la compañía.

²⁶ Shingo, Shigeo, "Producción sin stocks: el sistema Shingo para la mejora continua", Tecnologías de Grencia y Producción S.A, Madrid, 1991.

La reducción de los inventarios es otro punto importante en el trabajo de Shigeo. Los inventarios cubren diferentes deficiencias en las empresas: falta de programación, retrasos en la producción, lotes defectuosos que deben ser rechazados, errores en la producción, entre otros aspectos. Es decir, el mantener inventarios grandes le permite a las empresas "solidificar sus errores". El reducir el inventario motiva a las organizaciones a que mejoren sus sistemas y controles de producción, asimismo, incide en un ahorro de espacio, de costos y disminución del desperdicio, puesto que en ocasiones el inventario se deteriora con el tiempo o termina por ser obsoleto, el almacenaje del mismo incide finalmente en un importante aumento de costos para las compañías.

La propuesta de reducir al máximo posible los inventarios está ligada con una de las ideas centrales del pensamiento de Shigeo: las empresas deben eliminar todo tipo de desperdicio. El desperdicio tiene muchas aristas, una de las más importantes es el inventario, ya que éste origina desperdicio de espacio y de inversión de capital. El transporte en la producción, los movimientos innecesarios y todos aquellos aspectos que no agreguen ningún valor al producto, son vistos por Shingo como desperdicio.

ANEXO 2

LA ESTADÍSTICA Y EL CONTROL DE CALIDAD

"La contribución al largo plazo de conceptos estadísticos depende, no tanto de la intervención de personal altamente especializado en estadística en la industria, como de la formación de una generación de físicos, químicos e ingenieros y otros hombres de mentalidad estadística, que de alguna forma tomen parte en el desarrollo y la dirección de los procesos de producción del mañana. W. Shewhart²⁷.

²⁷ W. Shewhart (editado por Deming), "Statistical Method from View Point of Quality Control, The Graduate School, Department of Agriculture, Washington D.C., 1939.

2.1 EL PAPEL DE LA ESTADISTICA EN EL CONTROL DE LA CALIDAD

El control de calidad estadístico tiene por objeto hacer una reducción sistemática de la variabilidad en las características de calidad esenciales de un producto. Las técnicas estadísticas en el aseguramiento de la calidad han sido parte esencial en el desarrollo de las teorías del control de calidad.

Walter Shewhart de la Bell Telephone Laboratories fue el pionero del control de calidad estadístico cuando en 1924 desarrolló el concepto estadístico de los diagramas de control. Por su lado, Harold Dodge y Roming, compañeros de Shewhart en los laboratorios Bell, diseñaron un muestreo de aceptación basado en la estadística como una alternativa al proceso de inspección.

A partir de la segunda Guerra Mundial el control estadístico se convirtió en una práctica importante en el aseguramiento de la calidad en la industria.

Los métodos estadísticos actualmente constituyen los métodos principales para realizar muestreos, inspeccionar y evaluar un producto para controlar la calidad en los procesos de producción. A partir de la información estadística obtenida se pueden implantar también medidas de control y mejoramiento de la calidad en la producción, al igual que se motiva la reducción de los costos de las empresas. Es importante recalcar nuevamente que en una empresa JIT la estadística es un sistema de información para el control de calidad estadístico.

Actualmente existe una rica gama de técnicas estadísticas útiles en el control de calidad, las primeras técnicas desarrolladas en los laboratorios Bell han sido ampliamente completadas por nuevas herramientas estadísticas.

Las técnicas de muestreo, los diagramas de control, las pruebas de hipótesis, el análisis de varianza, el diseño de experimentos y los métodos de regresión son las principales teorías estadísticas que han contribuido en el control de la calidad. En este anexo se presenta un panorama general teórico y práctico de los conceptos y aplicaciones esenciales de estas técnicas.

2.2 PRUEBA DE HIPÓTESIS

Un concepto importante en el control estadístico de la calidad es la prueba de hipótesis. Las pruebas de hipótesis sirven para establecer un juicio acerca de la validez de un parámetro de una distribución de probabilidad; por ejemplo, diseñando una prueba de hipótesis, una muestra aleatoria puede servir para determinar si la media de un proceso ha permanecido sin cambios, o si ha cambiado al grado de que el proceso esté fuera de control y se deban llevar a cabo ajustes.

Algunos casos en los que las pruebas de hipótesis son útiles, es cuando se desea saber si un nuevo método es mejor que un método estándar o si una característica de calidad de un producto es independiente de una situación dada de producción.

Teoría de las Pruebas de Hipótesis

Esencialmente una prueba de hipótesis es una teoría estadística que permite decidir si una suposición referente a un parámetro de una distribución de probabilidad es cierto o falso. Para esto se elaboran dos enunciados acerca de un parámetro: hipótesis nula e hipótesis alternativa. En caso de que se pruebe que la hipótesis nula sea falsa, entonces se dará por válida la hipótesis alternativa. Por ejemplo, si se desea saber si el tiempo de secado de pintura es de 20 minutos en promedio, se puede establecer como hipótesis nula que la media $\mu = 20$ min contra la hipótesis alternativa que la media del secado sea $\mu \neq 20$ min:

$$H_0 : \mu = 20 \text{ m}$$

$$H_a : \mu \neq 20 \text{ m}$$

Un paso importante en la prueba de hipótesis es determinar las hipótesis, en el control de calidad generalmente los enunciados (valores de los parámetros) son determinados por la experiencia, es decir, a partir de los datos experimentados en el pasado se establecen valores para parámetros que indican que los procesos están bajo control, y de esta forma se hacen pruebas periódicas para saber si el proceso no está fuera de control. Los enunciados también puede ser elaborados mediante alguna teoría o modelo estadístico del proceso.

Para probar un hipótesis se toma muestra de la población que se está estudiando, y a partir de un estadístico de prueba se decide rechazar o aceptar la hipótesis nula. En las pruebas de hipótesis se pueden incurrir en dos tipos de errores: el error tipo I, que se da cuando se rechaza H_0 cuando ésta es verdadera, y error tipo II que se tiene cuando se acepta la hipótesis nula dado que ésta sea falsa. El error tipo I (denotado como α) es llamado en control de calidad riesgo de

producción, ya que indica la probabilidad de que se rechace un lote que cumple con los estándares de calidad. Por su parte, el error tipo II (denotado como β) es llamado riesgo de consumidor, ya que indica la probabilidad que se acepte un lote que no cumple con las características de calidad requeridas.

Las pruebas de hipótesis se aplican a una gama muy importante de problemas, en el control de calidad frecuentemente se utilizan para comparar medias y varianzas de procesos.

Generalmente se toma $(1-\alpha)$ como nuestro nivel de confianza en nuestro experimento, es decir la probabilidad de que no se cometa el error tipo I; una vez dada nuestra α los pasos para elaborar una prueba de hipótesis son los siguientes:

- 1 Se formula una hipótesis nula y una hipótesis alternativa apropiada que se acepte cuando la hipótesis nula debe rechazarse.
- 2 Se especifica la probabilidad de error tipo I.
- 3 Con base en la distribución de muestreo de una estadística apropiada, se forma una regla de decisión para la prueba de la hipótesis nula contra la alternativa dada.
- 4 Se toma la decisión de aceptar o rechazar la hipótesis nula.

Pruebas de Hipótesis para Medias Cuando se Conoce la Varianza

Sea x una variable aleatoria con media desconocida μ y varianza conocida σ^2 , si se quiere mostrar que la media es igual a un valor estándar μ_0 entonces la prueba queda de la siguiente manera:

$$H_0 : \mu = \mu_0$$

$$H_a : \mu \neq \mu_0$$

Para probar la hipótesis se toma una muestra aleatoria de n observaciones y se procede a calcular el estadístico Z

$$Z = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\sigma / \sqrt{n}}$$

La regla de decisión sería:

$$\text{Rechazar } H_0 \text{ si } |Z| > Z_{\alpha/2}$$

Si $Z_{\alpha/2}$ es tal que el área bajo la curva normal estándar a su derecha sea igual a $\alpha/2$.

En el caso que se quisiera variar nuestra hipótesis alternativa, tendríamos los siguientes modelos de pruebas de hipótesis:

Enunciados	Regla de decisión (zona de rechazo)
$H_0: \mu = \mu_0$ $H_a: \mu > \mu_0$	$Z > z_\alpha$
$H_0: \mu = \mu_0$ $H_a: \mu < \mu_0$	$Z < -z_\alpha$

Pruebas de Hipótesis referente a una Varianza

Supóngase que se quiere mostrar ahora que la varianza de una población equivale a una constante especificada contra una alternativa conveniente, esto es, probar la hipótesis nula $\sigma^2 = \sigma_0$ contra una de las alternativas $\sigma^2 \neq \sigma_0$, $\sigma^2 > \sigma_0$ o $\sigma^2 < \sigma_0$. Pruebas como éstas son importantes por ejemplo cuando se desea controlar la uniformidad de un producto u operación. En este caso el estadístico está dado la siguiente manera:

$$\chi^2 = \frac{(n-1)S^2}{\sigma_0^2}$$

En donde S es la desviación estándar del proceso muestreado. Los modelos de esta prueba serian:

Enunciados	Regla de decisión (zona de rechazo)
$H_0: \sigma^2 = \sigma_0^2$ $H_a: \sigma^2 < \sigma_0^2$	$\chi^2 < \chi^2_{1-\alpha}$
$H_0: \sigma^2 = \sigma_0^2$ $H_a: \sigma^2 > \sigma_0^2$	$\chi^2 > \chi^2_\alpha$
$H_0: \sigma^2 = \sigma_0^2$ $H_a: \sigma^2 \neq \sigma_0^2$	$\chi^2 < \chi^2_{1-\alpha/2}$ o $\chi^2 > \chi^2_{\alpha/2}$

En estos caso χ^2_α es tal que el área bajo la distribución ji cuadrada a su derecha es igual a α

2.3 PROCESOS DE MUESTREO PARA LA INSPECCION DE LOTES

La inspección de materias primas, productos semiterminados o terminados es parte importante del aseguramiento de la calidad. Cuando el propósito de la inspección es la aceptación o el rechazo de un producto, con base en la conformidad respecto a un estándar, el tipo de procedimiento de inspección que se utiliza se llama muestreo para aceptación.

Aunque se acostumbra considerar el muestreo para aceptación una actividad de inspección al recibir, hay otros usos para los métodos de muestreo. Por ejemplo, con frecuencia un fabricante inspeccionará su propia producción en diferentes etapas.

El uso más eficiente del muestreo para aceptación funciona como una herramienta de verificación con objeto de asegurar que la producción o salida de un proceso esté conforme a los requisitos. El muestreo para aceptación es muy útil en las siguientes situaciones:

- Cuando el costo de una inspección al 100% es muy costosa.
- Cuando una inspección al 100% tecnológicamente o por tiempo sea prácticamente imposible.
- Cuando el proveedor ha mostrado una excelente historial en su producción y se desean reducir tiempos.

Muestreo de Aceptación por Atributos Simple

Plan de Muestreo Simple

Sea N el tamaño del lote de la muestra, n el tamaño muestral y c el número de aceptación, supongamos que después de revisar las n unidades se encontraron d artículos defectuosos, entonces si $d > c$ se rechazará el lote y si $c \geq d$ se aceptará el lote; a este procedimiento se le llama plan de muestreo simple porque se inspecciona el lote basándose en la información proporcionada por una sola muestra de tamaño n .

Curva Característica de Operación (CO)

La Curva Característica de Operación (CO) representa la probabilidad de aceptar el lote contra la fracción muestral defectuosa. Por lo tanto, la curva CO muestra la probabilidad de que un lote con cierta fracción de artículos defectuosos sea aceptado o rechazado.

Sea N el tamaño del lote (teóricamente infinito), entonces la distribución del número de artículos defectuosos d encontrados en una muestra aleatoria de tamaño n es del tipo binomial con parámetros n y p , donde p es la fracción de artículos defectuosos en el lote.

La probabilidad de observar exactamente d artículos defectuosos está dada por:

$$P(\text{art. defectuosos}) = f(d) = \frac{n!}{d!(n-d)!} p^d (1-p)^{n-d}$$

Mientras que la probabilidad de aceptación, es decir, de que de sea menor o igual a c está dada por:

$$P(\text{acep.}) = P(d \leq c) = \sum_{d=0}^c \frac{n!}{d!(n-d)!} p^d (1-p)^{n-d}$$

Supongamos que tenemos número de aceptación $c = 3$, entonces si variamos el tamaño muestral n de a 50, 100 y 200 tendríamos las siguiente curvas CO:

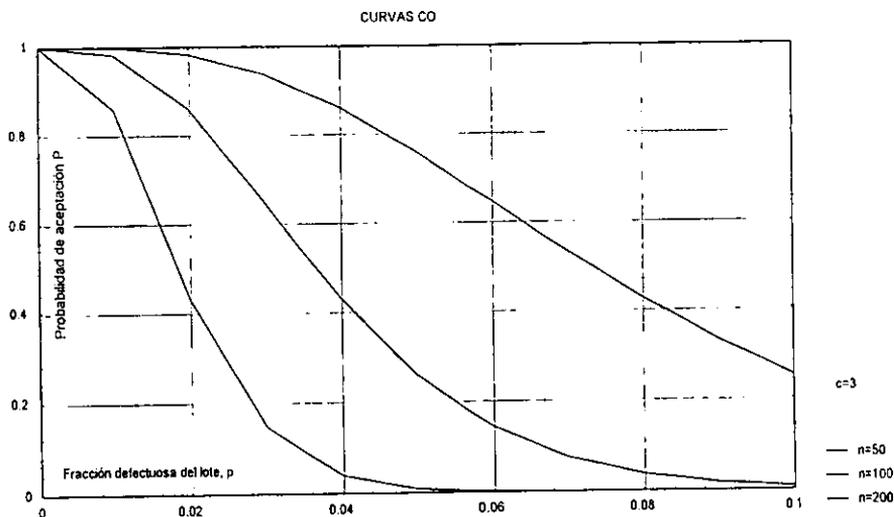


Fig. A.1

Se puede observar en la gráfica A.1 que al aumentar el tamaño de la muestra la pendiente de la curva CO también aumenta. Es decir, entre mayor sea el tamaño de la muestra la curva discrimina con más exactitud entre un lote bueno y un lote malo.

En la curva CO normalmente se especifican los rangos en los que la calidad del producto es aceptable. Los principales puntos son el NCA (Nivel de Calidad aceptable) y el PDTL (Porcentaje tolerable por Lote). El NCA representa el peor nivel de calidad para el proceso, el NCA es un estándar por el cual se juzgan los lotes. Por su lado, el PDTL es el peor nivel de calidad que el consumidor está dispuesto a aceptar en un lote individual.

Muestreo Doble y Múltiple

Los planes de muestreo simples pueden ser extendidos a otros tipos de planes, algunos de ellos son los del tipo doble y múltiple y los secuenciales.

Plan de Muestreo Doble y Múltiple

Un plan de muestreo doble es un procedimiento en el que bajo ciertas circunstancias se necesita una segunda muestra antes de juzgar un lote. Un plan de muestreo doble se define mediante cuatro parámetros: n_1 = tamaño de la primera muestra, c_1 = número de aceptación de la primera muestra, n_2 = tamaño de la segunda muestra y c_2 = número de aceptación para ambas muestras combinadas.

Supongamos que ya se ha seleccionado una muestra de piezas aleatorias n_1 tal que se han observado d_1 actividades defectuosas. Si $d_1 \leq c_1$ se aceptará el lote en la primera muestra. Si $d_1 > c_2$, se rechazará el lote en la primera muestra. Si $c_1 < d_1 \leq c_2$, se tomará una segunda muestra n_2 y se identificará el número de artículos defectuosos d_2 ; ahora si $d_1 + d_2 \leq c_2$ se aceptará el lote y si $d_1 + d_2 > c_2$ entonces se rechazará el lote. En la figura A.2 se muestra el procedimiento.

La ventaja de un plan de muestreo doble con respecto al muestreo simple es que puede reducir la cantidad total de inspección requerida. Supongamos que la primera muestra seleccionada en un plan de muestreo doble es menor que la requerida para un plan de muestreo simple que ofrece al mismo consumidor la misma protección. Por ende, para todos los casos en los que se acepta o se rechaza un lote en la primera muestra, los costos de inspección serán menores en uno doble que en uno simple.

El muestreo doble tiene dos desventajas: 1) en ocasiones puede requerir más tiempo que el simple, 2) por ser más complicado existe un mayor riesgo de incurrir en errores.

El plan de muestreo múltiple es una extensión del procedimiento para muestreo simple, en el cual se pueden necesitar más de dos muestras para inspeccionar un lote.

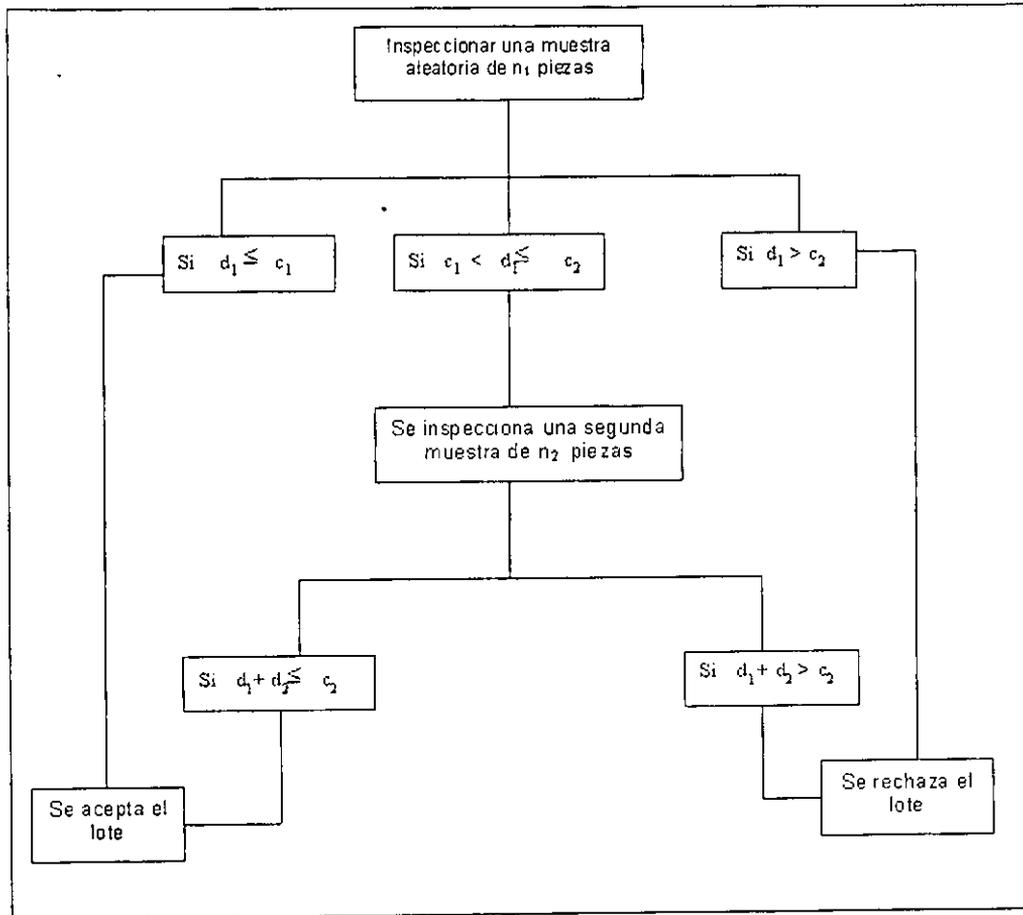


Fig. A.2

El plan funciona de la siguiente manera: si al terminar cualquier etapa del muestreo el número de artículos defectuosos es menor que o igual al número de aceptación, se aceptará el lote; en otro caso, si el número de unidades defectuosas es mayor o igual al número de rechazos se descartará el lote; en otro caso, se continuará con la siguiente muestra. Este procedimiento continúa hasta extraer la última muestra planeada, a partir de la cual se debe tomar una decisión definitiva.

En general se realiza una inspección al 100% de la muestra, aunque se pueden reducir las muestras subsecuentes. La ventaja de este método es que las muestras requeridas son más

pequeñas que en los casos de muestreo simple y doble, sin embargo, por sus características son más difíciles de llevar a cabo.

Muestreo de Aceptación por Variables

En los planes de muestreo por variables se toma una medida para cada artículo en la muestra y se registra. A partir de estas medidas se calcula un índice, se compara con un valor permisible y se toma una decisión sobre el lote.

La ventaja principal de los muestreos variables es que se puede obtener la misma curva característica de operación con un tamaño muestral menor que lo requerido por un plan por atributos. Otra ventaja es que los datos de mediciones proporcionan más información sobre el proceso de manufactura.

Uno de los procedimientos de muestreo por variables es aquel que controla la fracción defectuosa del lote o el proceso; puesto que la característica de la calidad es una variable, habrá un límite inferior de especificación (LIE) o un límite superior (LSE).

Entonces para llevar a cabo este muestreo se estudia una muestra aleatoria de n artículos y se procede a calcular el siguiente estadístico:

$$Z_{LIE} = \frac{\bar{X} - LIE}{\sigma}$$

En este estadístico la fracción defectuosa del lote es función de la media del lote y de la desviación estándar del lote o proceso. Z_{LIE} expresa la distancia entre la media muestral y el límite inferior de especificación, es decir, entre más lejos esté la media del lote, la fracción p es más pequeña. Si existe un valor crítico de p que no debe excederse con una probabilidad dada, entonces se podrá traducir este valor de p en una distancia crítica, por ejemplo k para Z_{LIE} , así si Z_{LIE} es mayor o igual a k , se aceptará el lote porque los datos muestrales indican que la media del lote se halla suficientemente arriba del LIE, en otro caso se rechaza el lote.

2.4 DIAGRAMAS DE CONTROL

En todo proceso de producción se presentan ciertas variabilidades, cuando estos cambios son pequeños son parte normal en la fabricación, y se puede afirmar que existe un control estadístico en la producción. En ocasiones se da una variabilidad importante como consecuencia de un error en la operación o un desajuste en la maquinaria, estas varianzas son detectadas fácilmente y son causas fuera de control que no tienen implicaciones a largo plazo.

Generalmente en un proceso de producción se observan periodos largos sin variaciones importantes, sin embargo, en ocasiones se presentan desajustes no identificados los que pueden generar que gran parte de la producción tienda a salirse fuera de las especificaciones y con ello se tenga un proceso fuera de control. El diagrama de control estadístico es una útil herramienta que se utiliza en la línea de producción para controlar y medir la variabilidad en la producción, y de esta manera parar la producción cuando existe un proceso fuera de control, con el objeto de que se realicen los ajustes necesarios para retornar a los límites de calidad aceptables.

Esencialmente un diagrama o gráfica de control consiste en una línea central correspondiente a la calidad media, bajo la cual el proceso debe operar y en líneas correspondientes a los límites superior e inferior de control. Estos límites se escogen de manera que los valores que caigan entre ellos puedan atribuirse al azar, mientras que los valores que se ubiquen más allá de ellos se interpreten como indicación de una falta de control, ver figura A.3.

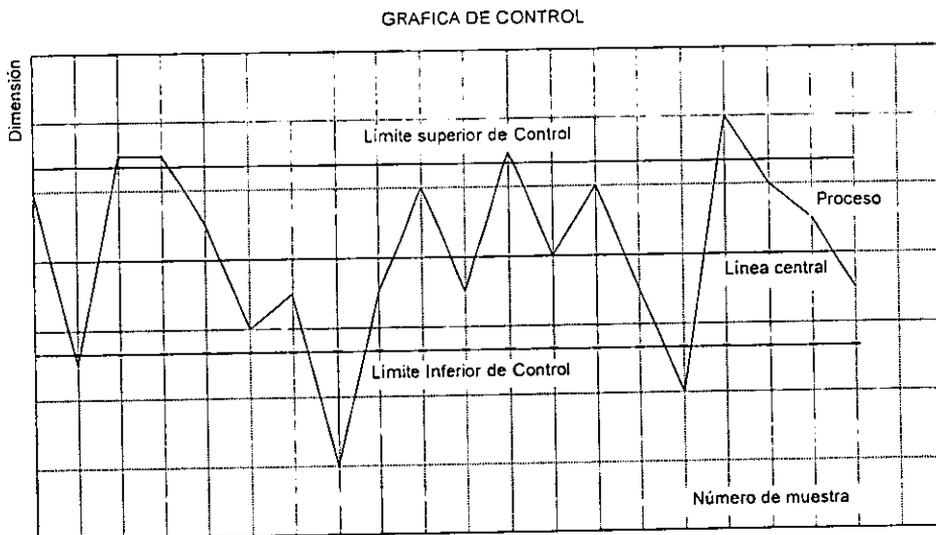


Fig. A.3

Marcando los resultados obtenidos de muestras tomadas periódicamente a intervalos frecuentes, es posible verificar, por medio de tal gráfica, si el proceso está bajo control o si es que se han infiltrado problemas en él. Cuando un punto muestral cae más allá de los límites de control se busca el problema que originó tal problema. Aunque los puntos caigan dentro de los límites de tolerancia se debe estar pendiente en detectar si existe algún patrón sistemático, el cual puede ser un aviso de una desviación en la producción.

Diagramas de Control para Atributos

En muchos ocasiones no es factible representar la calidad de un producto en términos numéricos, en estos casos una alternativa rápida para cuantificar la calidad es verificar el producto contra especificaciones sobre un atributo o una base de "defectuoso" o "no defectuoso".

La gráfica de fracción de productos defectuosos (gráfica p) y la gráfica de número de defectos por pieza (gráfica c) son los diagrama básicos en el control de calidad por atributos.

Gráfica p

En este gráfica se busca llevar un control estadístico del número de artículos defectuosos que salen de una línea de producción. Los límites de control para una gráfica de fracción de productos defectuosos se basa en la teoría de muestreo de proporciones; aproximando la curva normal a la distribución binomial.

Por su parte, la línea central está dada por \bar{p} , la cual es estimada a partir datos históricos. Si se disponen de k muestras, con d_i como el número de artículos defectuosos en la i ésima muestra y n_i el número de observaciones en la i ésima muestra, se suele estimar la proporción de productos defectuosos en la muestra combinada, esto es:

Línea central:

$$\bar{p} = \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_k}{n_1 + n_2 + \dots + n_k}$$

Por su parte los límites de la gráfica están dados por:

Límite Superior UCL

Límite Inferior LCL

$$UCL = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

$$LCL = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

En los casos de que la p es muy pequeña el límite inferior suele ser negativo, en estos casos se considera el LCL = 0. Un diagrama equivalente a la gráfica p es aquel que muestra el número de productos defectuosos producidos, para estos casos sólo se requiere multiplicar por n la proporción de números defectuosos; este diagrama es conocida como la gráfica np. En la figura A.4 se presenta una gráfica de control p, en donde se muestra que un proceso está bajo control.

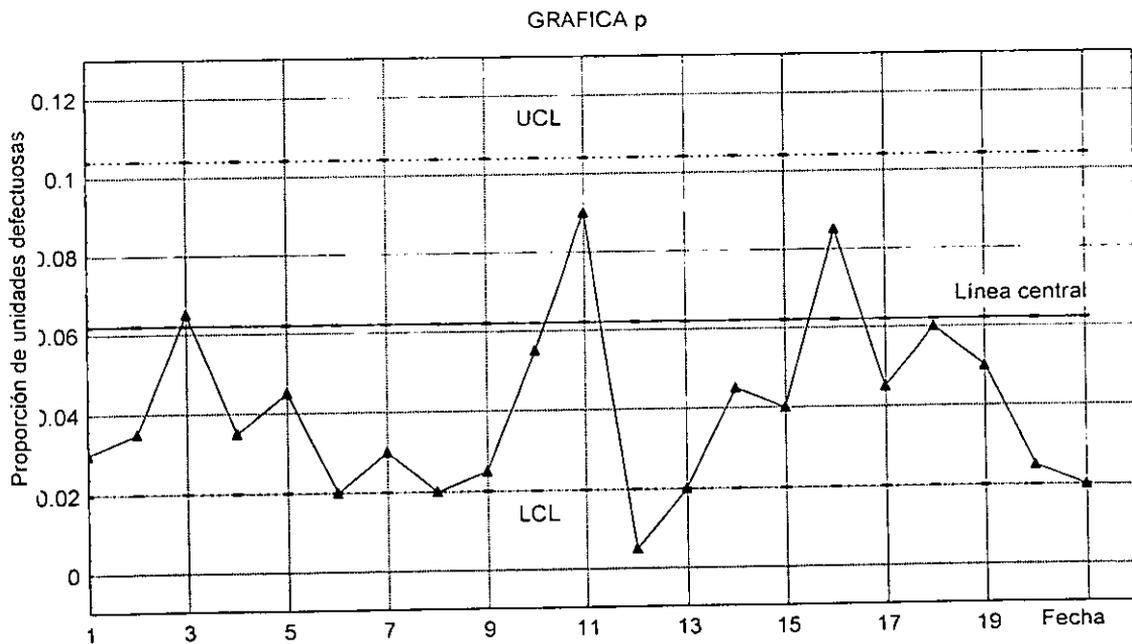


Fig. A.4

Gráfica c

En algunos casos es necesario controlar el número de defectos por unidad de producto, en vez del número de productos defectuosos. En este caso el número de defectos por unidad manufacturada C siguen una distribución del tipo de Poisson, en la que el parámetro λ es la línea central. Si λ es desconocida, es decir, si no se da ningún estándar, entonces se calcula a partir de por lo menos 20 valores históricos observados. Entonces, si k es el número de unidades de producto disponibles para estimar λ , y si c_i es el número de defectos en la i ésima unidad, entonces la línea central λ se calcula de la siguiente manera:

Línea Central

$$\bar{c} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k c_i$$

Por su parte los límites de la gráfica están dado por:

Límite Superior UCL

Límite Inferior LCL

$$UCL = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$$

$$LCL = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$$

2.5 ANALISIS DE REGRESIÓN

En el control de calidad es útil conocer la interacción entre los diferentes factores que influyen en el proceso de producción. Si se conocen los factores que producen la variación en la calidad, y si se investiga en que medida un factor da lugar a la variación en la calidad de la producción, se podrá mejorar la calidad controlando la variación en el factor.

Por otro parte, las relaciones entre variables son útiles para pruebas de características. Puesto que muchas pruebas de calidad son destructivas, se pueden encontrar pruebas indirectas no destructivas que están altamente correlacionadas con pruebas directas destructivas, entonces se podrá probar el artículo sin necesidad de destruirlo. Por ejemplo, se puede probar la resistencia tensional con una prueba de dureza, debido a que ambas están relacionadas.

En la figura A.5 se observa gráficamente la relación entre dos variables, por un lado se tiene en el eje de las "x" la fuerza de tensión aplicada a un espécimen de acero en miles de libras y en el eje de las "y" el alargamiento resultante en milésimas de pulgada, se puede observar que al aumentar la tensión el alargamiento también aumenta de una manera lineal.

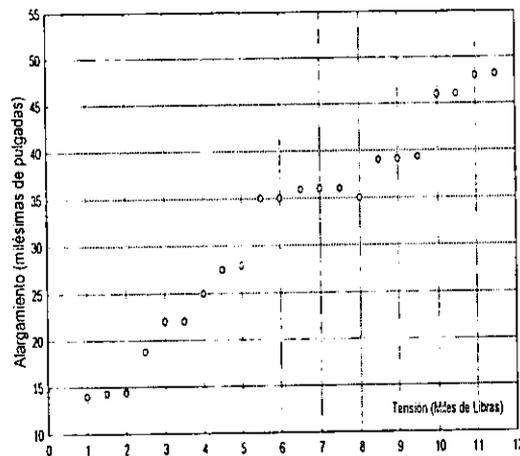


Fig. A.5

Técnica de Análisis de Regresión

El análisis de regresión es un técnica estadística, que a partir de un modelo matemático explica la interacción entre diferentes variables relacionadas entre sí. Esta técnica es utilizada en la descripción de datos, predicción y estimación de valores, control de procesos de calidad, seguimiento de procesos de producción, análisis financieros, entre otras muchas aplicaciones.

Modelo de Regresión

Supongamos la existencia de dos variables relacionadas entre sí, una la independiente llamada "x" y otra la dependiente llamada "y". El modelo de regresión más simple está dada por una relación lineal representada por la siguiente ecuación:

$$y = a + bx$$

donde a y b son la intersección y la pendiente del modelo respectivamente. Ya que los datos originales no coincidirán exactamente con este modelo, debe ser considerado un error ε , el cual mida la diferencia entre los valores reales y los dados por el modelo. Es decir, la ecuación de los datos reales es:

$$y = a + bx + \varepsilon$$

En esta ecuación se considera que el error ε tiene esperanza igual a cero, una varianza σ^2 , $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$ y además, los errores son independientes.

Estimación de a y b: Ya que los parámetros a y b son desconocidos, éstos deben ser calculados; existen varias formas de estimarlos, el método de los mínimos cuadrados se usa frecuentemente para estimarlos, básicamente este método consiste en minimizar la suma de los cuadrados de las diferencias entre los valores reales y los dados por el modelo.

Nuestros valores reales están caracterizados de la siguiente forma:

$$y_i = a + bx_i + \varepsilon, \quad \text{con } i = 1, 2, 3, \dots, n$$

Por otra parte, supongamos que α y β son los estimadores de a y b respectivamente; entonces, los datos del modelo están dados por la siguiente ecuación:

$$\tilde{y}_i = \alpha + \beta x_i \quad \text{con } i = 1, 2, 3, \dots, n$$

Según el método de los mínimos cuadrados se debe minimizar la siguiente suma:

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \tilde{y}_i)^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \alpha - \beta x_i)^2$$

Al realizar los cálculos requeridos se deduce que:

$$\alpha = \bar{y} - \beta \bar{x}$$

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^n y_i x_i - \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i\right)\left(\sum_{i=1}^n x_i\right)}{n}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2}{n}}$$

donde

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$$

Así, obtenemos nuestro modelo de regresión: $\tilde{y}_i = \alpha + \beta x$

Coeficiente de Determinación

El valor del coeficiente de determinación (R^2), sirve para medir que tanto el modelo propuesto se ajusta a los datos reales: un valor de R^2 cercano a 1 implica que la mayor parte de la variabilidad en y es explicada por el modelo de regresión. Así, la magnitud de R^2 depende del rango de variabilidad en la variable y .

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\tilde{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

Modelo General de Regresión Lineal

El modelo general de regresión lineal está dado de la siguiente forma:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \beta_3 x_{i3} + \dots + \beta_n x_{in} + \varepsilon_i$$

El cálculo de los coeficientes al igual que en la regresión simple, se realiza también por el método de los mínimos cuadrados.

Transformaciones

El punto de partida en el análisis de regresión es que la relación entre la variable independiente (x) y la variable dependiente (y) se comporta como una línea recta; además, se da como supuesto que los errores son independientes con distribución normal y varianza constante. No obstante, en ocasiones un análisis de residuales puede indicar que existe una relación diferente a la lineal entre las variables estudiadas o que alguno de los supuestos de la regresión son violados. En estos casos es necesario modificar el modelo de regresión para corregir estos defectos. Uno de las formas más comunes de corrección es el uso de transformaciones.

Transformación a líneas rectas

Aunque la relación entre nuestros datos no sea una función lineal, ésta a veces puede ser expresada como una línea recta mediante una transformación apropiada. Por ejemplo: si se considera que entre los datos X y Y existe una relación de la siguiente forma:

$$y = a e^{\beta x} \varepsilon$$

Esta función es intrínsecamente lineal, ya que puede ser transformada a una línea recta mediante una transformación logarítmica:

$$\ln y = \ln a + \beta x + \ln \varepsilon$$

$$\text{Si } y' = \ln y, \text{ entonces: } y' = \ln a + \beta x + \varepsilon'$$

Esta transformación requiere que los nuevos errores $\varepsilon' = \ln \varepsilon$ sean distribuidos normales independientes, con esperanza cero y varianza σ^2 .

Otros modelos que pueden ser transformados son los siguientes:

$$y = a + \beta(1/x) \quad \text{Sea } x' = 1/x \quad \text{Entonces } y = a + \beta x'$$

$$y = a + \beta \log x \quad x' = \log x \quad y = a + \beta x'$$

$$y = \frac{x}{ax - \beta} \quad y' = 1/y \quad x' = 1/x \quad y' = a - \beta x'$$

$$y = a + \beta x^2 \quad x' = x^2 \quad y' = a + \beta x'$$

Una adecuada transformación no solamente es útil para remediar falta de linealidad, sino también puede corregir varianzas no constantes o falta de normalidad en los errores.

Modelos de Regresión Polinomiales

Otra forma de corregir problemas en el modelo es considerar a la función de regresión como un polinomio. Este modelo es muy utilizado y en realidad es solamente un caso especial de un modelo general de regresión lineal, es decir:

$$y = \beta_0 + \beta_1x + \beta_2x^2 + \beta_3x^3 + \dots + \beta_nx^n + \varepsilon_i$$

Si se considera $x_{i1} = x$, $x_{i2} = x^2$... $x_{in} = x^n$ entonces se tiene:

$$y = \beta_0 + \beta_1x_{i1} + \beta_2x_{i2} + \beta_3x_{i3} + \dots + \beta_nx_{in} + \varepsilon_i$$

el cual es un modelo general de regresión lineal. Como en la regresión simple, en los polinomios también se pueden aplicar transformaciones para remediar defectos en el modelo.

2.6 ANALISIS DE VARIANZA

La experimentación es una fuente importante de información para el control de la calidad. El objetivo de la experimentación debe ser reducir y controlar la variación de un producto o un proceso, al igual que identificar los parámetros que influyen en el desempeño de un producto o un proceso. Puesto que la variación es una parte importante del control de la calidad, el análisis de varianza (ANOVA) es el método estadístico que permite interpretar los datos experimentales y con ello tomar las decisiones encaminadas al mejoramiento de la producción.

El análisis de varianza básicamente consiste en la clasificación de resultados estadísticos, y en comprobar si las medias de una clasificación determinada difieren significativamente entre ellas. Por ejemplo, la producción de un proceso puede ser clasificada según sus operadores y maquinarias, a partir de esta clasificación la ANOVA nos permite determinar si la calidad media de producción difiere significativamente entre cada operador o entre cada maquinaria.

Diseños de Clasificación Sencilla.

Supóngase que en un experimento se dispone de los resultados de k muestras aleatorias independientes, cada una de tamaño n , de k poblaciones diferentes (esto es, datos que conciernen a k tratamientos, a k grupos, a k métodos de producción, etc.), que le interesa probar la hipótesis de que las medias de esas k poblaciones son todas iguales. Si se denota la i ésima observación en la i ésima muestra con y_{ij} , el esquema general para una clasificación sencilla es como sigue:

		<i>Medias</i>
<i>Muestra 1:</i>	$y_{11}, y_{12}, \dots, y_{1j}, \dots, y_{1n}$	\bar{y}_1
<i>Muestra 2:</i>	$y_{21}, y_{22}, \dots, y_{2j}, \dots, y_{2n}$	\bar{y}_2
...		
...		
<i>Muestra i:</i>	$y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{ij}, \dots, y_{in}$	\bar{y}_i
.....		
.....		
<i>Muestra k:</i>	$y_{k1}, y_{k2}, \dots, y_{kj}, \dots, y_{kn}$	\bar{y}_k

Por otra parte si se supone que las poblaciones son normales con varianzas iguales. Si μ_i denota la media de la i ésima población y σ^2 denota la varianza común de las k poblaciones, entonces se puede expresar cada observación y_{ij} como μ_i más el valor de una componente aleatoria, esto es se puede escribir;

$$Y_{ij} = \mu_i + e_{ij}, \quad \text{para } i=1,2,\dots,k; j=1,2,\dots,n$$

De acuerdo con las suposiciones anteriores, las ε_{ij} son variables aleatorias normalmente distribuidas e independientes con media cero y varianza común σ^2 . Para lograr uniformidad con ecuaciones correspondientes a tipos más complicados de diseños es usual reemplazar μ_i por $\mu + \alpha_i$, donde μ es la media de las μ_i y α_i es el efecto del tratamiento i ésimo: por lo que la suma de los k efectos es igual a cero. Por lo tanto, el modelo de clasificación sencilla quedaría escrito de la siguiente manera:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij}, \quad \text{para } i=1,2,\dots,k; j=1,2,\dots,n$$

Asimismo la hipótesis nula de que las medias de la población k son todas iguales puede remplazarse por la hipótesis nula de que todos los efectos i son igual a cero. La hipótesis alternativa entonces será que al menos exista un $\alpha_i \neq 0$ para alguna i .

Para probar la hipótesis nula de que las medias de la población k son todas iguales, se comparan dos estimaciones de σ^2 , una basada en la variación entre las medias muestrales y otra basada en la variación dentro de las muestras. Haciendo los cálculos correspondientes se infiere que el estadístico de prueba F sería el siguiente:

$$F = \frac{SS(Tr) / (k - 1)}{SSE / k(n - 1)}$$

En este caso la hipótesis nula se rechazará si F excede de una F_α con $k-1$ y $k(n-1)$ grados de libertad.

Tal que SSE y SS(Tr) están dados por

$$SST = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 - C$$

$$SS(Tr) = \frac{\sum_{i=1}^k T_i^2}{n} - C$$

C es el factor de correctivo

$$C = \frac{T^2}{kn}$$

En estas expresiones T_i es el total de las n observaciones en la iésima muestra, mientras que T es el gran total de las nk observaciones.

Este modelo de análisis de varianza fue utilizado en sus inicios en el área de la agricultura, donde las k poblaciones representaban los diferentes tratamientos con fertilizantes aplicados a parcelas. El análisis de varianza puede ser muy útil, si por ejemplo deseamos saber si existe una diferencia significativa entre el desempeño de k operadores en un mismo proceso.

Diseños de Clasificación Doble

En un diseño de experimento la estimación del error experimental (o variación aleatoria) puede reducirse dividiendo las observaciones en bloques. Esto es posible si las fuentes conocidas de variabilidad (o sea variables extrañas) son constantes en cada bloque, pero varían de bloque a bloque. Este nuevo modelo nos permite construir un experimento más elaborado, por ejemplo, se podría investigar el rendimiento medio de 5 trabajadores (bloques) que operan en turno 3 diferentes máquinas (tratamientos); en este caso podríamos saber si existe una diferencia substancial entre el desempeño de los trabajadores y entre el funcionamiento de las máquinas.

Para construir este modelo se supone que se tienen mediciones pertenecientes a "a" tratamientos distribuidos sobre "b" bloques. y_{ij} denota la observación perteneciente al tratamiento iésimo y al bloque jésimo, \bar{y}_i denota la media de las b observaciones para el iésimo

tratamiento, \bar{y}_j denota la media de las a observaciones en el bloque jésimo y las $\bar{y}_..$ denota la media global de las ab observaciones. El modelo sería descrito de la siguiente forma:

	Bloques					
	B ₁	B ₂	B _j	B _b	Medias	
Tratamiento 1:	$y_{11}, y_{12}, \dots, y_{1j}, \dots, y_{1b}$				\bar{y}_1	
Tratamiento 2:	$y_{21}, y_{22}, \dots, y_{2j}, \dots, y_{2b}$				\bar{y}_2	
...						
...						
Tratamiento i:	$y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{ij}, \dots, y_{ib}$				\bar{y}_i	
.....						
.....						
Tratamiento a:	$y_{a1}, y_{a2}, \dots, y_{aj}, \dots, y_{ab}$				\bar{y}_a	
Medias	\bar{y}_1	\bar{y}_2	\bar{y}_j	\bar{y}_b	$\bar{y}_..$

La ecuación que representa el modelo de clasificación doble o bloque aleatorizado es:

$$\bar{y}_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, a; j = 1, 2, \dots, b$$

En esta ecuación μ es la gran media, α_i es el efecto del tratamiento iésimo, β_j es el efecto del bloque jésimo y las ε_{ij} son variables aleatorias independientes normalmente distribuidas con medias igual a cero y varianza común σ^2 . Al igual que en el caso de clasificación sencilla los parámetros son restringidos imponiendo las condiciones que la suma de los efectos de los iésimos tratamientos, al igual que la suma de los jésimos bloques sea igual a cero.

En el análisis de clasificación doble se pueden probar dos hipótesis nulas, por una parte probar la significancia de la diferencia entre las medias de los tratamientos, así como el de los bloques, de esta forma se tendrían dos hipótesis nulas: 1) $\alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_a = 0$, 2) $\beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_b$ donde la hipótesis alternativa es que por lo menos uno de los efectos sea diferente de cero. Al igual que en el caso de clasificación sencilla, las pruebas de significancia se basan en comparaciones de las estimaciones de la variación entre los bloques y entre los tratamientos respectivamente.

El estadístico de prueba para rechazar la hipótesis nula de que las α_i son todas iguales a cero es:

$$F_{Tr} = \frac{MS(Tr)}{MSE} = \frac{SS(Tr) / (\alpha - 1)}{SSE / (a - 1)(b - 1)}$$

tal que se rechaza la hipótesis si el estadístico excede a una F_α con $a-1$ y $(a-1)(b-1)$ grados de libertad con nivel de significancia α . Por su parte, la hipótesis nula de que las β_j son todas iguales a cero puede rechazarse en el nivel de significancia α si

$$F_{Bl} = \frac{MS(Bl)}{MSE} = \frac{SS(Bl) / (b - 1)}{SSE / (a - 1)(b - 1)}$$

excede de una F_α con $b-1$ y $(a-1)(b-1)$ grados de libertad.

Tal que

$$SST = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij}^2 - C$$

$$SS(Tr) = \frac{\sum_{i=1}^a T_i^2}{n} - C$$

$$SS(Bl) = \frac{\sum_{j=1}^b T_j^2}{a} - C$$

C es el factor de correctivo

$$C = \frac{T^2}{ab}$$

En estas expresiones T_i es el total de las b observaciones para el tratamiento i ésima, T_j es la suma de las a observaciones en el bloque j ésimo y T es el gran total de las observaciones.

2.7 OTROS DISEÑOS DE EXPERIMENTOS

En el diseño de clasificación doble la experimentación se mejora reduciendo la variación, esto se lleva a cabo a través de una identificación de las fuentes conocidas de variabilidad. Existen otros modelos como son los latinos y los grecolatinos, los cuales son usados para eliminar los efectos de dos y tres fuentes de variabilidad extrañas, respectivamente. Se tiene un caso de un diseño de experimento latino, cuando por ejemplo se requiere saber si existen diferencias entre tres tipos diferentes de procedimientos de soldadura, tal que en este proceso se puedan identificar dos fuentes de variabilidad, como lo puede ser el uso de diferentes tipos de fundentes o la rotación de operadores.

Generalmente los diseños de cuadros latinos se llevan a cabo con réplicas, es decir, se repite el patrón del cuadro latino varias veces. Si se supone que se tienen un total de r réplicas, el modelo latino sería el siguiente:

$$Y_{ij(k)l} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \rho_l + \varepsilon_{ij(k)l}$$

$$\text{Para } i, j, k = 1, 2, \dots, n \quad l = 1, 2, \dots, r$$

Al igual que en los otros modelos se tiene también la restricción de que la suma de los efectos de las α, β, γ y ρ sean igual a cero.

En esta expresión $Y_{ij(k)l}$ es la observación en el i ésimo renglón y en la j ésima columna de la l ésima replica, y el subíndice k indica que se trata del k ésimo tratamiento. Las α_i es el efecto del i ésimo renglón, β_j indica el efecto de la j ésima columna, γ_k el efecto del k ésimo tratamiento, ρ_l el efecto de la l ésima replica, $\varepsilon_{ij(k)l}$ son variables aleatorias independientes distribuidas normalmente con varianza σ^2 y μ es la gran media. El desarrollo de este experimento es similar a los presentados anteriormente, con la diferencia que se tienen ahora 4 hipótesis nulas para deducir si la media de los efectos α, β, γ y ρ se comportan de forma diferente.

Una categoría de diseños más elaborados son los llamados factoriales, en estos experimentos se busca investigar el efecto de varias variables, al igual que la interacción entre éstas.