



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE HIDALGO**

**INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA**

**ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERÍA**

**EVALUACIÓN DE UN PROCESO  
PRODUCTIVO SIMULADO BAJO  
CRITERIOS DE MANUFACTURA  
ESBELTA**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO INDUSTRIAL**

**P R E S E N T A :**

**AZAEEL HERNÁNDEZ OSORIO**



**DIRECTOR DE TESIS: DR. JORGE ARMANDO ROJAS RAMÍREZ**

**MINERAL DE LA REFORMA, HIDALGO  
SEPTIEMBRE DE 2009.**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO**  
**INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA**  
**DIRECCIÓN**

M. en C. Julio César Leines Medécigo  
Director de Control Escolar de la  
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo  
Presente

Por este conducto le comunico que el Jurado asignado al pasante de la Licenciatura en Ingeniería Industrial: AZAEL HERNANDEZ OSORIO, quien presenta el trabajo de titulación "EVALUACIÓN DE UN PROCESO PRODUCTIVO SIMULADO BAJO CRITERIOS DE MANUFACTURA ESBELTA", después de revisar el trabajo ha decidido autorizar la impresión del mismo, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación se anotan las firmas de conformidad de los integrantes del Jurado:

PRESIDENTE: Ing. Roberto Pichardo Cabrera  
PRIMER VOCAL: Dr. Jorge Armando Rojas Ramírez  
SEGUNDO VOCAL: M. en I. Sergio Blas Ramírez Reyna  
TERCER VOCAL: Ing. Artemio Sánchez Cerón  
SECRETARIO: M. en I. César Alfonso Arroyo Barranco  
PRIMER SUPLENTE: Dr. Juan Carlos Seck Tuoh Mora  
SEGUNDO SUPLENTE: Dr. Joselito Medina Marín

Sin otro particular, le reitero a usted la seguridad de mi atenta consideración.

Atentamente  
"Amor, Orden y Progreso"  
Mineral de la Reforma, Hgo., a 9 de septiembre de 2009

*O.A.*  
M. en C. Octavio Castillo Acosta  
Director



# Agradecimientos.

Quiero agradecer a DIOS por permitirnos estar un día más  
Y poder contemplar la luz de un nuevo día, así como a todas las personas  
Que me han brindado su apoyo en las buenas y en las malas, pero desafortunadamente  
No me es posible mencionar porque nunca terminaría, pero ellas y ellos saben que son  
piezas importantes en mí andar por la vida, es por ello que quiero compartir este  
Espacio y dedicar a cada uno el esfuerzo y trabajo para la culminación de esta tesis.

## A MIS PADRES Y HERMANOS.

Como un testimonio de infinito aprecio  
y eterno agradecimiento por el apoyo moral  
que siempre me han brindado y con el cual  
he logrado terminar una de las metas más  
importantes de mi vida, con admiración y respeto.

## A MI DIRECTOR DE TESIS

Indudablemente le estaré eternamente agradecido  
por su apoyo y paciencia, pero sobre todo, por compartir  
todo su conocimiento y sabiduría para poder realizar  
éste trabajo, gracias Dr. Jorge Rojas Ramírez.

*El hombre añade conocimientos a sus conocimientos; nunca el saber  
es bastante si tanto se es más humano cuando más se sabe, el más  
noble empleo será enseñar, y la más grata tarea, aprender.*

# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
ANTECEDENTES .....	1
OBJETIVO GENERAL.....	2
OBJETIVOS PARTICULARES .....	2
JUSTIFICACIÓN .....	3
ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO .....	4
<b>CAPÍTULO 1. EL PARADIGMA DE LA MANUFACTURA ESBELTA</b> .....	<b>5</b>
1.1. NECESIDADES ACTUALES DE LOS SISTEMAS DE MANUFACTURA .....	5
1.2. ENFOQUES DE MANUFACTURA EXISTENTES .....	6
1.2.1. <i>La producción en masa y MRP</i> .....	6
1.2.2. <i>La visión de los japoneses con TPS y JIT</i> .....	10
1.2.3. <i>La teoría de las restricciones (TOC)</i> .....	15
1.2.3.1. El sistema Tambor – Amortiguador – Cuerda (DBR) .....	18
1.2.3.2. Tecnología de Producción Optimizada (OPT).....	19
1.2.4. <i>La calidad total y Seis Sigma</i> .....	21
1.2.4.1. La calidad total .....	21
1.2.4.2. Evolución histórica del concepto de calidad.....	23
1.2.4.3. Origen de Seis Sigma .....	29
1.2.4.4. Proceso de introducción de Seis Sigma .....	31
1.3. PRINCIPIOS DE LA MANUFACTURA ESBELTA .....	34
1.3.1. <i>Aspectos técnicos</i> .....	34
1.3.1.1. Desperdicios por sobreproducción .....	39
1.3.1.2. Desperdicios por tiempo de espera .....	39
1.3.1.3. Desperdicio por transporte.....	39
1.3.1.4. Desperdicios por procesamiento.....	40
1.3.1.5. Desperdicio por inventario .....	40
1.3.1.6. Desperdicio de movimientos .....	40
1.3.1.7. Desperdicio por defectos en producto .....	40
1.3.2. <i>Aspectos socio-técnicos</i> .....	41
1.3.3. <i>Los 5 Principios del Pensamiento Esbelto</i> .....	45
1.4. HERRAMIENTAS DE LA MANUFACTURA ESBELTA.....	45
1.4.1. <i>Mapeo del Flujo de Valor</i> .....	46
1.4.2. <i>Calidad en la Fuente y Dispositivos contra Error (Jidoka y Poka-Yoke)</i> .....	48
1.4.2.1. Jidoka .....	48
1.4.2.2. Poka-Yoke.....	49
1.4.3. <i>Mantenimiento Productivo Total (TPM)</i> .....	52
1.4.4. <i>Grupos de mejora (Soikufu)</i> .....	54
1.4.5. <i>Adaptación mediante flexibilidad (Shojinka)</i> .....	55
1.4.6. <i>Reducción de las preparaciones (SMED)</i> .....	56
1.4.6.1. Ajustes internos y externos.....	57
1.4.6.2. Separación de los ajustes internos y externos .....	58
1.4.6.3. Transformación de ajustes internos en externos .....	58
1.4.6.4. Racionalización de todos los aspectos de la operación de ajuste .....	58
1.4.7. <i>Cinco eses</i> .....	59
1.4.7.1. Clasificar (Seiri) .....	60
1.4.7.2. Ordenar (Seiton).....	61
1.4.7.3. Limpieza (Seiso).....	61
1.4.7.4. Estandarizar (Seiketsu).....	62
1.4.7.5. Disciplina (Shitsuke) .....	63

1.4.8. Producción nivelada ( <i>Heijunka</i> ).....	64
1.4.8.1. Nivelación por volumen .....	64
1.4.8.2. Nivelación por producto .....	65
1.4.9. Mejora continua ( <i>Kaizen</i> ) .....	65
<b>CAPÍTULO 2. DIAGNÓSTICO DE UN PROCESO DE PRODUCCIÓN DE VAGONES.....</b>	<b>68</b>
2.1. DESCRIPCIÓN DE UN PROCESO INDUSTRIAL REPRESENTATIVO .....	68
2.1.1. Procesos de producción de vagones .....	68
2.1.2. Proceso previo o de montaje metálico .....	70
2.1.3. Proceso de pintura y sus etapas.....	70
2.1.4. Proceso posterior o de vestidura .....	72
2.2. DETECCIÓN DE LAS ÁREAS DE OPORTUNIDAD ESBELTAS .....	73
2.3. SELECCIÓN DE HERRAMIENTAS ESBELTAS APLICABLES AL CASO.....	74
<b>CAPÍTULO 3. ELABORACIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN PARA EVALUAR LA</b>	
<b>ESBELTEZ .....</b>	<b>75</b>
3.1. FUNDAMENTOS DE LA SIMULACIÓN DISCRETA .....	75
3.1.1. Conceptos de base.....	76
3.1.2. Elementos de la simulación.....	77
3.1.3. Ejemplo de software de simulación.....	78
3.1.4. Etapas en un modelo de simulación.....	79
3.1.5. La simulación aplicada a la manufactura.....	80
3.1.6. Medidas de desempeño .....	81
3.2. EL MODELO PROPUESTO PARA EL PROCESO INDUSTRIAL ACTUAL .....	82
3.2.1. Localidades.....	83
3.2.2. Entidades .....	84
3.2.3. Operarios .....	84
3.2.4. Procesos.....	84
3.2.5. Llegadas.....	85
3.2.6. Variables.....	85
3.2.7. Desempeño del sistema .....	86
3.3. AJUSTES DE LOS PARÁMETROS CORRESPONDIENTES A LAS HERRAMIENTAS SELECCIONADAS .....	87
3.3.1. Parámetros para simular <i>Jidoka</i> y <i>Poka-Yoke</i> .....	87
3.3.2. Parámetros para simular <i>TPM</i> .....	88
3.3.3. Parámetros para simular <i>Soikufu</i> .....	88
3.3.4. Parámetros para simular <i>Shojinka</i> .....	89
3.3.5. Parámetros para simular <i>SMED</i> .....	89
<b>CAPÍTULO 4. CORRIDAS DE SIMULACIÓN DEL MODELO DE MANUFACTURA ESBELTA Y</b>	
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>91</b>
4.1. DISEÑO DE EXPERIMENTOS .....	91
4.2. SELECCIÓN DE LAS CORRIDAS.....	92
4.3. RESULTADOS OBTENIDOS .....	93
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>99</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>102</b>
<b>ANEXO A: CÓDIGO DEL MODELO DE SIMULACIÓN.....</b>	<b>105</b>
<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS .....</b>	<b>110</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA.1.1. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS MRP.....	9
FIGURA.1.2. LAS SIGMAS BAJO LA DISTRIBUCIÓN NORMAL. ....	30
FIGURA 2.1. PROCESO DE PINTURA ESTUDIADO Y SUS ETAPAS.....	72
FIGURA 3.1. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO GENERAL DE SIMULACIÓN.....	80
FIGURA 3.2. REPRESENTACIÓN EN PROMODEL DEL SISTEMA ANALIZADO.....	86
FIGURA 4.1. COMPARACIÓN ENTRE NIVELES DE INVENTARIO PARA TRES EXPERIMENTOS. ....	97
FIGURA 4.2. COMPARACIÓN ENTRE DIAGRAMAS DE ESTADOS DEL PROCESO 2 PARA TRES EXPERIMENTOS. ....	98

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 3.1. PARÁMETROS PARA LAS MODIFICACIONES AL SISTEMA.....	90
TABLA 4.1. PLANEACIÓN DE LAS CORRIDAS DE SIMULACIÓN.....	93
TABLA 4.2. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN.....	94

# INTRODUCCIÓN

## *ANTECEDENTES*

Una de las funciones principales del ingeniero industrial consiste en promover la mejora de los sistemas productivos.

Se han generado en los últimos tiempos diversas corrientes de pensamiento que buscan esta mejoría a través de la calidad, la productividad, el flujo. En particular destaca el punto de vista nacido en Toyota y que desde Japón ha llegado a difundirse al mundo bajo el nombre de Manufactura Esbelta.

Por consiguiente, ha sido un tema de interés la aplicación de las herramientas contenidas en la Manufactura Esbelta en cuanto a su aplicación a un entorno como el de la industria nacional.

Para un proyecto de investigación centrado en esta temática se abren dos caminos para llevar a cabo las pruebas de aplicación de técnicas esbeltas a procesos nacionales: uno es la selección de una muestra de industrias con las que se experimenten los cambios propuestos y otro, el de utilizar un simulador de proceso por computadora.

Esta tesis ha abordado el segundo de los caminos, para apoyar la búsqueda de resultados de la Manufactura Esbelta a procesos en México. Por lo tanto, a partir de la información descriptiva de un proceso típico, se elaboró un modelo utilizando el software ProModel, se asociaron las técnicas esbeltas con los parámetros de proceso factibles de ser ajustados, se desarrollaron las corridas de simulación y se reportaron los resultados.

### ***OBJETIVO GENERAL***

Elaborar un modelo de simulación con la capacidad de incorporar los parámetros clave de la Manufactura Esbelta y las características de los procesos productivos nacionales para evaluar los desempeños resultantes.

### ***OBJETIVOS PARTICULARES***

- Presentar los principales conceptos que definen el paradigma de la Manufactura Esbelta, con sus principios y herramientas características
- Analizar y diagnosticar un proceso productivo generalizado de la industria nacional, destacando las oportunidades de aplicar herramientas esbeltas para su mejora
- Aplicar el método de la simulación por computadora para generar un modelo capaz de representar los efectos en el desempeño derivado de diversas modificaciones guiadas por las herramientas de la Manufactura Esbelta
- Diseñar los experimentos de simulación y llevar a cabo las corridas correspondientes al planteamiento de mejora con Manufactura Esbelta
- Analizar los resultados de la simulación y evaluar la mejoría en el desempeño derivada de la aplicación

## **JUSTIFICACIÓN**

Para lograr elevar el desempeño de una instalación industrial es necesario partir de un marco de referencia que establezca las relaciones entre las principales variables. Históricamente, la administración científica planteó las bases de eficiencia y sincronía entre los recursos de fabricación que dio lugar a las cadenas de montaje de Ford y durante un largo tiempo marcó el rumbo a escala mundial. La industria japonesa de la posguerra introdujo cambios radicales a la postura anterior, al cuestionar todos los pasos en que se genera un desperdicio. Este pensamiento evolucionó del Sistema de Producción de Toyota, pasando por Justo a Tiempo y desembocó a su aplicación mundial bajo el nombre de Producción o Manufactura Esbelta.

La situación problemática que atraviesa en la actualidad nuestro país motiva la realización de proyectos de investigación en los que se promueva la aplicación de las mejores técnicas para llevar a la industria nacional a niveles competitivos de desempeño.

Uno de los proyectos del Área Académica de Ingeniería ha planteado un estudio acerca de la manera de aplicar exitosamente este paradigma de la esbeltez en empresas locales, cuya finalidad es definir el método de aplicación más conveniente. Puesto que las diferentes opciones de parámetros por modificar generan una altísima combinatoria, se requiere de un medio de verificación en el que evalúen y comparen las propuestas de mejora.

Dentro de las opciones para lograr este mecanismo de evaluación, la simulación de procesos por computadora, particularmente con la aplicación del paquete ProModel, por sus implicaciones de variedad en los experimentos y nulo riesgo, resulta una mejor opción que la experimentación con procesos del mundo real, aparte de permitir un control más estricto de las variables.

Tanto en el soporte al mencionado proyecto, como por la voluntad de tener una experiencia más detallada del comportamiento en los procesos de temas estudiados dentro de las materias de la Licenciatura en Ingeniería Industrial, el presente tema resultó una muy buena oportunidad de profundizar y reforzar conocimientos sobre manufactura.

## **ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO**

En el capítulo uno se presentan las bases conceptuales del tema, con la descripción de los paradigmas recientes de los sistemas de manufactura. Redescriben la producción en masa, la visión japonesa de Justo a Tiempo, la teoría de las restricciones y la calidad total. A partir de este contexto se destaca la evolución de los sistemas japoneses hacia el concepto de Manufactura Esbelta, ya con un concepto de aplicabilidad mundial.

El capítulo dos lleva a cabo el diagnóstico de un proceso de ejemplo de la industria en el estado, en la fabricación de material ferroviario, que conduce a la detección de las principales fallas en el desempeño del proceso y, asociadas a éstas, las causas más notables. De ahí se establece la relación con los desperdicios que son el objeto de solución de las herramientas esbeltas.

Por su parte, en el capítulo tres se lleva a cabo el desarrollo de un modelo de simulación en ProModel, apegado a las características del proceso analizado y con la facilidad de modificar los parámetros en función de los lineamientos de mejora que marcan las herramientas esbeltas.

Finalmente, al capítulo cuatro corresponden la ejecución de las simulaciones, con el diseño de los experimentos, las corridas y la consecuente obtención de resultados y su interpretación, con el fin de aportar los elementos que significan las soluciones de mayor factibilidad de aplicación al entorno considerado, de manera exitosa. Las aportaciones más relevantes se señalan en las conclusiones.

# **CAPÍTULO 1.**

## **EL PARADIGMA DE LA MANUFACTURA ESBELTA**

Para dar inicio al tema se parte de un marco conceptual, que refiere el estado presente de los sistemas de producción, que a lo largo del último siglo ha evolucionado desde los sistemas artesanales hacia el concepto de producción en masa, para posteriormente llegar al paradigma de la Manufactura Esbelta, cuyos principios y herramientas fundamentales se presentan, junto con su contexto.

### ***1.1. NECESIDADES ACTUALES DE LOS SISTEMAS DE MANUFACTURA***

En el dominio de los sistemas de manufactura actuales, particularmente los que se ubican en el entorno del estado, el reto mayor consiste en mantenerse competitivos, lo cual resalta que cualquier deficiencia mostrada sea identificada, analizada y resuelta. Esta competencia ahora es global, los productos modernos tienden a ciclos de vida muy cortos, se incorporan tecnologías modernas, tanto en maquinaria, como en equipo de información y comunicación.

La producción es una componente de la empresa y los resultados de ésta están en función del desempeño de todos los componentes de la organización. Es posible separar en tres los niveles de acción en la empresa. En el nivel de la administración de la producción se

crean el objetivo, la visión y el carácter de la organización, se guía y se activa a los procesos, así como se administra el cambio organizacional.

Un nivel intermedio es el de la programación y la supervisión de los procesos productivos, en que se proporcionan los recursos a los procesos operacionales y se incluyen todas las decisiones a corto y mediano plazos necesarias para activar los procesos, como en la asignación de recursos, la inversión de capital o la expansión de capacidad.

Por último, aparece el nivel de los procesos operacionales, que son los que crean directamente el valor para el cliente y para la organización, así que comprende las etapas de manufactura, el desarrollo de productos o el servicio al cliente.

La evolución en la administración de la producción ha generado una variedad de enfoques, presentados a continuación, en donde uno de los cambios más notorios es pasar de los sistemas controlados por la propia organización de producción a la era de los controlados por el mercado. Es decir, las especificaciones del producto, los tiempos de entrega, la calidad y los costos, antes fijados por los productores, ahora son exigidos por los consumidores.

## ***1.2. ENFOQUES DE MANUFACTURA EXISTENTES***

La consecución del funcionamiento del sistema de manufactura no posee una única estructura. Como lo señalan Sipper y Bulfin (1998) y Domínguez y sus colaboradores (1995), son cuatro los paradigmas más importantes: la producción en masa tradicional, que en su versión más elaborada se identifica con MRP (*Materials Requirements Planning*), la planeación de recursos de manufactura; después aparece el enfoque de la Manufactura Esbelta, de raíces japonesa, de interés particular en este trabajo; la teoría de las restricciones, centrada en el funcionamiento de los cuellos de botella; el cuarto elemento es el de la calidad total.

### **1.2.1. La producción en masa y MRP**

La producción en masa surgió de la idea de suministrar grandes cantidades de producto estandarizado para llegar a mercados extensos y se reflejó particularmente en la fabricación de

automóviles por Ford en los inicios del siglo XX (Womack, *et al.*, 1991). Buscaba la eficiencia en los procesos a través de la intercambiabilidad de las partes y la simplicidad de los ensambles entre ellas y requería de grandes cantidades de inventario.

Los sistemas de producción en masa iniciaron como una técnica de planeación de requerimientos y se convirtieron en sistemas de administración, planeación y ejecución de operaciones. En su funcionamiento, un sistema de este tipo:

- genera un programa maestro de producción;
- elabora la explosión del producto final en sus partes;
- ordena su liberación a la planta; y
- verifica y ajusta el inventario.

Al suponer una capacidad infinita de la planta, requerir de datos relativamente exactos y completos de todos los procesos y suponer tiempos de proceso fijos, se presentan las principales debilidades de este enfoque. El tiempo de proceso fijo es una limitación importante en estos sistemas, ya que dependen del grado de carga de la planta. Los tiempos de proceso fluctúan en la práctica, de manera que, por protección, se establecen lo suficientemente altos para cubrir las contingencias y da como consecuencia inventarios excesivos (Sipper y Bulfin, 1998).

Un sistema de planeación de requerimientos de materiales (MRP, *Materials Requirements Planning*) considera productos complejos, formados por el ensamble de varios componentes y subensambles. El tema de la planeación de los recursos de manufactura adquirió progresivamente más importancia y forzó la mejor utilización en los sistemas de producción a partir de la consideración de los requerimientos de materiales, evolucionando paulatinamente hasta integrarse en la planeación de los recursos de manufactura (MRPII, *Manufacturing Resource Planning*).

El principal objetivo de MRP es determinar la demanda discreta de cada componente en cada bloque de tiempo. Con ellos se genera la información necesaria para la compra correcta de materiales o para la fabricación en el sistema, a partir de los datos del Programa Maestro de Producción (MPS, *Master Production Schedule*).

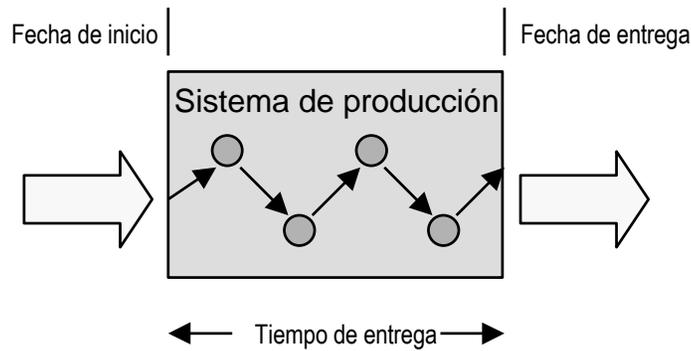
La salida principal de los sistemas MRP es generar los requerimientos de componentes y materia prima por etapas. Los tres insumos más importantes de un sistema MRP son:

- El programa maestro de producción: insumo primordial por los requerimientos para cada etapa del producto terminado;
- Los registros del estado del inventario: información de todos los artículos en el inventario, que se mantiene actualizado con cada recepción, retiro o asignación de artículos, incluyendo tiempos de entrega, inventario de seguridad, tamaños de lote o desperdicio permitido; y
- La lista de materiales, también llamada estructura del producto: muestra la secuencia en que se fabrican y ensamblan la materia prima, las partes de compra y los subensambles para conformar el artículo final. Muestra las cantidades necesarias de cada uno por producto final.

El archivo de registros del inventario es la fuente de información para MRP y contiene:

- El segmento maestro de datos: Información necesaria para la programación, tal como identificación numérica de los artículos, tiempos de suministro, inventario de seguridad en su caso, algoritmo para el tamaño del lote o posible porcentaje de defectuosos.
- El segmento de estado de inventarios: Incluye información sobre necesidades brutas, disponibilidades en almacén, cantidades comprometidas para pedidos planeados, recepciones programadas, necesidades netas, recepción de pedidos planeados y lanzamiento de pedidos planeados.
- El segmento de datos adicionales o subsidiarios. Información sobre órdenes especiales, cambios solicitados y otros aspectos.

Los sistemas MRP tienen, como fundamento técnico, la manera en que se envían los trabajos al sistema de producción y su flujo a través del sistema. Puede entonces verse como una herramienta de control de materiales, como se muestra en la Figura 1.1.



$$\text{Fecha de inicio} = \text{fecha de entrega} - \text{tiempo de entrega}$$

Figura.1.1. Principio de funcionamiento de los sistemas MRP.

Se determina la fecha de entrega para cada trabajo, a partir de la demanda o de la siguiente operación. Los trabajos se envían con una fecha de inicio, que es la fecha de entrega menos el tiempo de entrega. El tiempo de entrega es un parámetro de planeación determinístico. El tiempo de flujo es el tiempo real que le lleva al material atravesar el sistema de producción; es variable y se desea reducir esa variabilidad cuanto sea posible.

Una vez enviado, el trabajo fluye de una operación a otra a través del sistema de producción, sin importar lo que pase adelante de él. De aquí el término empujar para este método. Se empujan los trabajos a través del sistema de producción.

La definición más difundida del sistema MRP lo conceptualiza como un sistema de planeación de componentes de fabricación que, mediante un conjunto de procedimientos lógicamente relacionados, traduce un Programa Maestro de Producción en necesidades reales de componentes, con fechas y cantidades.

La siguiente etapa fue mejorar la planeación de la capacidad en distintos niveles y agregar habilidades de simulación. Esto hizo posible generar planes financieros basados en el proceso de planeación MRP. Así, se convirtió en Planeación de Recursos de Manufactura (MRPII), un sistema para toda la compañía, el cual maneja las operaciones de planeación y control y dejó de ser sólo una herramienta para programar el flujo de los materiales.

MRPII es un sistema de planeación, programación y control basado en computadora que proporciona a la administración una herramienta para planear y controlar sus actividades de manufactura y las operaciones de apoyo, obteniendo un nivel más alto de satisfacción del cliente y reduciendo los costos. De forma integrada y mediante un proceso informatizado en línea, con una base de datos única para toda la empresa, participa en la planeación estratégica, programa la producción, planea los pedidos de los diferentes artículos componentes, programa las prioridades y las actividades por desarrollar en cada taller, planea y controla la capacidad disponible y necesaria, y administra los inventarios. Además, partiendo de las salidas obtenidas, realiza cálculos de costos y desarrolla estados financieros.

En cuanto a sus principales desventajas actuales, puede citarse que le resulta difícil adecuarse a mercados de productos variados, a que no toma en cuenta las ideas del personal de operación, a que establece puestos especializados y muy diferenciados a las tareas de fabricación, supervisión, inspección, mantenimiento y, principalmente, a que su funcionamiento requiere de grandes almacenes de entrada, intermedios y de producto terminado y es a través de éstos que hace frente a los desabastos, las interrupciones y a otras eventualidades del proceso.

### **1.2.2. La visión de los japoneses con TPS y JIT**

El Sistema de Producción Toyota es un revolucionario sistema adoptado por las compañías japonesas después de la crisis petrolera de 1973. Antes, la compañía Toyota lo empezó a utilizar a principios de los años 50 y el propósito principal de este sistema es eliminar todos los elementos innecesarios en el área de producción (que incluye desde el departamento de compra de materias primas, hasta el servicio al cliente, pasando por recursos humanos y finanzas) y es utilizado para alcanzar reducciones de costos nunca antes imaginados y cumpliendo con las necesidades de los clientes a los costos más bajos posibles.

Quien sentó las bases del sistema en la empresa fue Taiichi Ohno. Él sentía que la meta de Toyota es acortar la línea de tiempo, desde el momento que el cliente hace un pedido hasta el momento en que se recoge el dinero en efectivo. El Sistema de Producción Toyota (*TPS*, por sus siglas en inglés), al buscar principalmente en el proceso producir Justo a Tiempo y

reducir todo tipo de desperdicio (en japonés, *muda*), volviendo ligero o esbelto el flujo de producción, en sus posteriores evoluciones y refinamientos llegó a conocerse con estas denominaciones alternas, de mayor aceptación en el mundo occidental. Esto es, producción Justo a Tiempo (JIT) o Manufactura Esbelta.

La base del TPS es la eliminación absoluta de las pérdidas. Los despilfarros son: empleo excesivos de recursos para la producción, exceso de producción, exceso de existencias. Puede agregarse un cuarto como consecuencia, inversión innecesaria de capital. Las necesidades derivadas de la posguerra llevaron a Ohno a emplear la observación, la imaginación y el sentido común. Esto derivó su pensamiento hacia cómo se producía y cuáles eran las rutas que seguían los productos durante el proceso. Por lo que había que ser cuidadoso y pensar en el tema de la reducción de costos y en la eficiencia. Las conclusiones de su pensamiento lo llevaron a enfocarse en: el flujo de producción, la continuidad de materias primas, el equilibrio de la producción debido a la escasez de recursos.

El TPS se desarrolló usando una herramienta llamada los *cinco porqués*. Preguntando *por qué* cinco veces y contestando cada vez, la causa real de un problema, puede descubrirse. A menudo la causa raíz está oculta bajo los síntomas más obvios y sólo al ir pelando cada capa del problema hace que se descubra la raíz.

El TPS cuenta con la eliminación de pérdidas como esencia. Los pasos preliminares para la aplicación del TPS consisten en identificar los costos improductivos:

- de sobreproducción
- de tiempo (esperas)
- de transporte
- de procesamientos de órdenes
- de almacenar (inventario)
- de movimientos innecesarios
- de proceso (arreglar defectos)

El segundo paso es crear las hojas de trabajo estándar. Éstos enumeran los métodos a seguir para cada procedimiento en la planta y Ohno descubrió que no pueden hacerse desde un escritorio. Deben hacerse en el lugar de trabajo: la planta.

La tercera área de preocupación consiste en crear una mentalidad de trabajo en equipo.

El siguiente problema al que Ohno prestó atención fue a los suministros.

Fabricar con JIT quiere decir que el proceso consigue lo que necesita de un proceso anterior. El proceso produce simplemente lo que tomó.

El método que opera esto en el TPS es el kanban. Kanban es meramente un método que controla el proceso JIT.

Las funciones del kanban son:

1. Provee información de recoger o de transportar
2. Proporciona información de producción
3. Previene sobreproducción y el transporte excesivo
4. Sirve como pedido de fabricación adherido a los productos
5. Previene los productos con defectos identificando el proceso que produce defectos
6. Revela la existencia de problemas y mantiene el control de inventario

Reglas para su uso:

1. El último proceso recoge el número de artículos indicado por el kanban del proceso más temprano
2. El proceso más temprano produce los artículos en la cantidad y la periodicidad indicada por el kanban
3. Ningún artículo es hecho o transportado sin un kanban
4. Siempre se adjunta un kanban a los productos
5. Los productos con defectos no se envían al proceso siguiente. El resultado es 100% libre de defectos
6. Reduciendo el número de kanban se incrementa la eficiencia

La producción se maneja ahora por la demanda, no por la capacidad. Debe reiterarse aquí de nuevo que el TPS es el método de producción y el kanban es el método por el que se maneja. La meta del TPS es el flujo continuo. Los procesos deben fluir tanto como sea posible para que el kanban trabaje. Otras condiciones incluyen los niveles de producción y siempre trabajando de acuerdo con los métodos de trabajo normales.

Después que el kanban se instituyó en el TPS, el próximo paso fue la nivelación de la producción. Esto requiere pequeños lotes y pequeños tiempos de preparación (en inglés, *set up*).

Ohno decidió que estableciendo un flujo de la producción y una manera de mantener un suministro constante de materias primas era la mejor manera en que debía operarse la producción japonesa.

Para mejorar el flujo del proceso, Ohno decidió que en lugar de poner las máquinas de un proceso juntas (es decir todas las guillotinas juntas, todas las prensas juntas, etcétera) y tener que llevar las partes de un lado a otro entre los procesos, él pondría la disposición en planta (*layout*) según el flujo de funcionamiento. Así nació la teoría de “un operador, muchos procesos”. Este sistema aumenta la eficacia de producción de 2 a 3 veces sobre la de “un operador, un proceso” que requiere la producción por lotes. El sistema de los *cinco porqués* también permite que los equipos de trabajo se dirijan a lo que causó el defecto y asegurarse que el defecto no vuelva a ocurrir nuevamente.

Para continuar mejorando, Toyota necesitó un sistema de información similar al método JIT usado en el manejo de los materiales.

El esquema de horarios diarios incluye la secuencia de producción el día. El kanban (trabaja al revés del extremo de la línea) crea el orden de producción para los procesos anteriores. El kanban da la información necesaria de cuándo y dónde es necesaria o si es necesario JIT. El TPS prevé la demanda *sólo* basándose en los números requeridos. Los datos que envían los distribuidores son los datos de entrada para la producción de las plantas.

Toyota siente que muchos negocios no entienden lo que significa de verdad la economía. En el TPS, la economía se piensa en cómo reducir la mano de obra y reducción del costo. El propósito de la reducción de la mano de obra es la reducción de costos.

Mientras la mayoría de los negocios piensan en usar la maquinaria para aumentar la economía, o usando las máquinas más tiempo, el TPS enfatiza buscando los cambios simples como el cambio de Layout que puede reducir la mano de obra necesitada, y que no cuesta nada en máquinas.

A lo largo de estas ideas, la eliminación del desperdicio apunta a reducir la mano de obra y el inventario.

Toda la fabricación ésta hecha de dos componentes: gasto y trabajo.

El desperdicio incluye el movimiento repetitivo innecesario incluido (es decir esperar por partes). El término trabajo incluye las actividades del proceso que agregan valor y las actividades que no agregan valor, como caminar para recoger partes.

Cada actividad que no agrega valor al trabajo también puede ser clasificada como desperdicio, pero es necesario para el negocio de la manera actual que se hace.

Otro enfoque de la reducción de costos del TPS es no operar las máquinas al 100% de su capacidad, a menos que la demanda dicte la necesidad de hacerlo así. Éste es un concepto dónde el pensamiento Occidental tradicional tiene un problema.

Ohno siente que la Ingeniería Industrial es un sin sentido a menos que involucre la reducción de costos y un aumento de las ganancias. La mejora de los métodos de fabricación no sólo deben incluir planes de inversión de gran escala, sino también la simplificación del trabajo para que se reduzca el número de obreros necesarios para completar un trabajo, o cambiando el Layout de operación.

Otro principio primario del TPS está determinado por los márgenes de ganancia. En lugar de la fórmula:  $\text{precio de venta} = \text{costo real} + \text{ganancia}$ , Toyota entiende que el

consumidor, no el fabricante, pone el precio. Por consiguiente ellos usan la fórmula de: precio de venta – costo= ganancia.

La meta es reducir el costo, no el precio de venta creciente.

El fin del Sistema Toyota es aumentar los beneficios mediante la reducción de costos a través de la completa eliminación de despilfarros como el exceso de existencias o personal. Para lograr la reducción de costos, la producción debe adaptarse rápidamente a las variaciones del mercado. El concepto JIT se aplica con la herramienta kanban y deben cumplirse algunos conceptos para que el TPS se lleve a cabo. Calidad en la fuente, sistemas de cambios de moldes que permitan reducir la preparación de las máquinas, participación de los proveedores, tamaños de lotes pequeños.

Cuando las épocas de demanda creciente estaban presentes era la época de la producción en serie. Cuando esta época ya se ha ido el TPS es un buen sistema que permite que las empresas con pocos recursos saquen provecho de estas limitaciones. El resto lo hace la limitación y el sentido común. La diferencia con la época actual es que el gran paso de la experiencia ya fue dado por estos precursores. Ahora sólo queda aplicar estos conceptos.

### **1.2.3. La teoría de las restricciones (TOC)**

La Teoría de las Restricciones (TOC, siglas de *Theory of Constraints*) fue descrita por primera vez por E. Goldratt al principio de los 80 y desde entonces ha sido ampliamente utilizada en la industria. TOC se originó como una manera de administrar los ambientes industriales, con el objetivo de aumentar las ganancias en las compañías en el corto y largo plazo. Este objetivo se alcanza aumentando el *throughput* (ingreso de dinero a través de las ventas) al mismo tiempo que se reducen los inventarios y los gastos operativos (Goldratt y Cox, 1998).

Se presenta uno de los enfoques más conocidos, aunque existen otros. La componente técnica de este enfoque es un programador de cuello de botella conocido como *Tecnología de Producción Optimizada* (OPT, siglas de *Optimized Production Technology*) y la componente administrativa es la teoría de las restricciones.

Es un conjunto de procesos de pensamiento que utiliza la lógica de la causa y efecto para entender lo que sucede y así encontrar maneras de mejorar. Está basada en el simple hecho de que los procesos multitarea, de cualquier ámbito, sólo se mueven a la velocidad del paso más lento. La teoría enfatiza la dilucidación, los hallazgos y apoyos del principal factor limitante. En la descripción de esta teoría estos factores limitantes se denominan restricciones o “cuellos de botella”.

Por supuesto las restricciones pueden ser un individuo, un equipo, una pieza de un aparato o una política local, o la ausencia de alguna herramienta o pieza de algún aparato.

La clave de TOC es que la operación de cualquier sistema complejo consiste en realidad en una gran cadena de recursos interdependientes (máquinas, centros de trabajo, instalaciones) pero sólo unos pocos de ellos, los cuellos de botella, (llamados restricciones) condicionan la salida de toda la producción. Reconocer esta interdependencia y el papel clave de los cuellos de botella es el primer paso que las compañías que implementan TOC tienen que dar para crear soluciones simples y comprensibles para sus complejos problemas.

En el lenguaje de TOC, los cuellos de botella (restricciones) que determinan la salida de la producción son llamados tambores, ya que determinan la capacidad de producción (como el ritmo del tambor en un desfile). De esta analogía proviene el método llamado Tambor – Amortiguador – Cuerda o *DBR (Drum-Buffer-Rope)* que es la forma de aplicación de la Teoría de Restricciones a las empresas industriales.

El punto de partida de todo el análisis es que la meta es ganar dinero, y para hacerlo es necesario elevar el throughput; pero como éste está limitado por los cuellos de botella, Goldratt concentra su atención en ellos, dando origen a su programa “OPT” que deriva en “La Teoría de las Restricciones”. Producir para lograr un aprovechamiento integral de la capacidad instalada, lleva a la planta industrial en sentido contrario a la meta si esas unidades no pueden ser vendidas. La razón dentro del esquema de Goldratt es muy sencilla: se elevan los inventarios, se elevan los gastos de operación y permanece constante el throughput; exactamente lo contrario a lo que se definió como meta. Goldratt sostiene que todo el mundo cree que una solución a esto sería tener una planta balanceada; entendiendo por tal, una planta

donde la capacidad de todos y cada uno de los recursos está en exacta concordancia con la demanda del mercado.



Pareciera ser la solución ideal; cada recurso genera costos por una capacidad de 100 unidades, que se absorben plenamente porque cada recurso necesita fabricar 100 unidades que es la demanda del mercado.

A partir de esta teórica solución, las empresas intentan por todos los medios balancear sus plantas industriales, tratando de igualar la capacidad de cada uno de los recursos con la demanda del mercado.

Suponiendo que sea posible, se reduce la capacidad de producción del recurso productivo uno, de 150 unidades a 100 unidades. De esta manera, disminuyen los gastos de operación y supuestamente permanecen constantes los inventarios y el throughput.



Pero según Goldratt todo esto constituye un gravísimo error. Igualar la capacidad de cada uno de los recursos productivos a la demanda del mercado implica inexorablemente perder throughput y elevar los inventarios. Las razones expuestas son las siguientes: Goldratt distingue dos fenómenos denominados: eventos dependientes y fluctuaciones estadísticas

- **Eventos Dependientes:** un evento o una serie de eventos deben llevarse a cabo antes de que otro pueda comenzar. Para atender una demanda de 100 previamente es necesario que el recurso productivo número dos fabrique 100 unidades y antes que éste, es necesario, que lo mismo haga el recurso productivo número uno.
- **Fluctuaciones Estadísticas:** suponer que los eventos dependientes se van a producir sin ningún tipo de alteración es una utopía. Existen fluctuaciones que afectan los niveles de actividad de los distintos recursos productivos, como ser: calidad de la

materia prima, ausentismo del personal, rotura de máquinas, corte de energía eléctrica, faltante de materia prima e incluso disminución de la demanda.

La combinación de estos dos fenómenos, genera un desajuste inevitable cuando la planta está balanceada, produciendo la pérdida de throughput y el incremento de inventarios.

No cabe la menor duda de que con la identificación y la adecuada gestión de las restricciones se consiguen mejoras significativas en poco tiempo.

#### 1.2.3.1. El sistema Tambor – Amortiguador – Cuerda (DBR)

Es una metodología de planeación, programación y ejecución que aparece como resultado de aplicar TOC a la programación de una fábrica. DBR aplica perfectamente la mecánica de programación de TOC y la hace fácil de entender e implantar en la planta. Esta simplicidad es lo que hace poderoso al DBR.

- El Tambor (*Drum*) se refiere a los cuellos de botella (recursos con capacidad restringida) que marcan el paso de toda la fábrica.
- El Amortiguador (*Buffer*) se basa en el tiempo que protege al throughput de las interrupciones del día a día y asegura que el Tambor nunca se quede sin material.
- En lugar de los tradicionales inventarios de seguridad “basados en cantidades de material” los amortiguadores recomendados por TOC están basados en tiempos de proceso. Es decir, en lugar de tener una cantidad adicional de material, se hace llegar el material a los puntos críticos con una cierta anticipación.
- En lugar de situar amortiguadores de inventario en cada operación, lo que aumenta innecesariamente los tiempos de fabricación, las compañías que implementan TOC sitúan amortiguadores de tiempo sólo en ubicaciones estratégicas que se relacionan con restricciones específicas dentro el sistema.
- El tiempo de preparación y ejecución necesario para todas las operaciones anteriores al tambor, más el tiempo del amortiguador es llamado longitud de la cuerda (*Rope length*).

La liberación de materiales a la planta está entonces atada a la programación del tambor. Ningún material puede entregarse a la planta antes de lo que la longitud de cuerda permite. De este modo, cada producto es tirado por la cuerda a través de la planta. Esto sincroniza todas las operaciones al ritmo del tambor, lográndose un flujo de materiales rápido y uniforme a través de la compleja red del proceso de una fábrica.

El método de programación DBR puede llevar a beneficios sustanciales en la cadena de suministros, asegurando que la planta esté funcionando a la máxima velocidad con el mínimo de inventarios y alcanzando a satisfacer demandas inesperadamente altas.

#### *1.2.3.2. Tecnología de Producción Optimizada (OPT)*

La premisa de OPT es que los cuellos de botella en la producción son la base para la programación y la planeación de la capacidad. Los recursos se clasifican como los que son cuello de botella y los que no lo son. Los recursos de cuello de botella se programan a su máxima utilización, y el resto se programa para servir al cuello de botella. Esto significa que en algunos casos los recursos que no son cuellos de botella pueden estar ociosos. El objetivo de máxima eficiencia para todas las máquinas ya no se satisface. OPT es en esencia un sistema de software, pero la aplicación de algunos de sus principios no necesariamente requiere software.

La creciente preocupación de las empresas occidentales por la erosión de su ventaja competitiva frente a sus rivales del extremo oriente fue responsable, en última instancia, de que aparecieran una serie de doctrinas, relacionadas con la optimización de la función de operaciones de la empresa. En este contexto a finales de los años 70, E. Goldratt creó un sistema nuevo de programación denominado Tecnología de Producción Optimizada (*Optimized Production Technology*). Este enfoque, basado en la idea de equilibrar el flujo de producción mediante el análisis de los recursos cuellos de botella, fue aplicado casi inmediatamente por multitud de empresas, que alcanzaron, con carácter general, resultados extremadamente positivos.

La Tecnología de Producción Optimizada se basa en siete principios fundamentales:

- Se debe equilibrar el flujo de producción, no la capacidad, esto es, ajustar el flujo por el cuello de botella con la demanda del mercado. Así, cuando se quiera aumentar el volumen de producción en respuesta a la demanda, sólo habrá que actuar sobre las limitaciones. Las mejoras aisladas en recursos no cuello de botella no se traducen en aumentos de la competitividad.
- El grado de utilización de un recurso no cuello de botella no vendrá dado por su propia capacidad, sino por alguna otra restricción del sistema. Si se incrementa el uso de un recurso no limitación, sin superar a tiempo las limitaciones, sólo se conseguirá incrementar los inventarios y los gastos operativos, sin que crezcan los ingresos netos. No tiene sentido que los otros recursos produzcan más rápido de lo que puede absorber un cuello de botella.
- Activar un recurso es distinto de utilizarlo. Activar un recurso es ponerlo en uso, independientemente de que eso contribuya al logro de la meta. ¿Cuántos de los recursos activados en la organización se están utilizando para lograr la meta?
- No se debe intentar optimizar cada uno de los elementos del sistema. Un sistema que alcanza óptimos locales no tiene por qué ser un sistema óptimo. De hecho puede ser muy ineficiente. Consecuencia inmediata de los dos principios anteriores. Cualquier intento de optimizar un recurso aisladamente es, como mínimo, un acto carente de perspectiva. Tradicionalmente, la productividad se ha entendido como un concepto marcadamente localista, conduciendo a la acumulación de grandes inventarios de materiales, trabajos en curso y productos terminados, que generan poca o nula rentabilidad.
- Una hora perdida en un recurso cuello de botella es una hora perdida en todo el sistema. Cada vez que se detiene un recurso limitado, ello implica una retención del sistema de igual magnitud. Por lo tanto, debemos de tener en cuenta el elevadísimo costo de las rupturas del proceso debidas a la paralización de los cuellos de botella.
- Una hora ganada en un recurso no cuello botella no es más que un espejismo. Perder tiempo en un cuello de botella es muy grave para la empresa. Sin embargo, hacerlo en un recurso no restringido puede no sólo no ser grave, sino incluso conveniente.

El tiempo ahorrado fuera de los cuellos de botella no incrementa el rendimiento del sistema, solamente el nivel de inventario y los gastos operativos.

- El lote de transferencia puede no ser, y de hecho muchas veces no debe ser, igual al lote en proceso. En el proceso de fabricación, OPT distingue dos tipos bien diferenciados de lotes. Por una parte el lote de proceso, que se puede definir como el realizado por un determinado centro de trabajo entre dos preparaciones sucesivas y que, tradicionalmente, con objeto de evitar las grandes ineficiencias de los largos tiempos de preparación de la maquinaria, suelen tener un tamaño grande (para conseguir disminuir los costos medios unitarios). Por otra parte, se encuentra el lote de transferencias, que es el que se usa para transportar artículos entre dos centros de trabajo. Con frecuencia se utiliza para éste un tamaño igual o similar al del lote de procesamiento, sin reparar que, con ello, se incrementa el tiempo total de fabricación y se acumulan inventarios en curso. Además, aceptada esta disminución entre lotes, tenemos que admitir que cada uno de ellos da lugar a un tipo de costo totalmente diferente, ya que el lote de transferencia determinará los asociados al inventario existente en la empresa, mientras que el lote de proceso llevará aparejados los costos de las preparaciones.

#### **1.2.4. La calidad total y Seis Sigma**

##### *1.2.4.1. La calidad total*

La Calidad Total es una alusión a la mejora continua, con el objetivo de lograr la calidad óptima en la totalidad de las áreas de una organización, es un concepto que explica cómo ofrecer el mayor grado de satisfacción a un cliente por medio de un bien o servicio.

En un primer momento se habla de control de calidad, primera etapa en la gestión de la calidad que se basa en técnicas de inspección aplicadas a producción. Posteriormente nace el aseguramiento de la calidad, fase que permite garantizar un nivel continuo de la calidad del producto o servicio proporcionado. Finalmente, se llega a lo que hoy en día se conoce como Calidad Total, un sistema de gestión empresarial íntimamente relacionado con el concepto de

mejora continua y que incluye las dos fases anteriores. Los principios fundamentales de este sistema de gestión son los siguientes:

- Consecución de la plena satisfacción de las necesidades y expectativas del cliente (interno y externo)
- Desarrollo de un proceso de mejora continua en todas las actividades y procesos llevados a cabo en la empresa (implantar la mejora continua tiene un principio pero no un fin)
- Total compromiso de la dirección y un liderazgo activo de todo el equipo directivo
- Participación de todos los miembros de la organización y el fomento del trabajo en equipo hacia una gestión de la Calidad Total
- Involucramiento del proveedor en el sistema de Calidad Total de la empresa, dado el fundamental papel de éste en la consecución de la calidad en la empresa
- Identificación y gestión de los procesos clave de la organización, superando las barreras departamentales y estructurales que esconden dichos procesos
- Toma de decisiones de gestión basada en datos y hechos objetivos sobre gestión basada en la intuición. Dominio en el manejo de la información

La filosofía de la Calidad Total proporciona una concepción global que fomenta la mejora continua en la organización y el involucramiento de todos sus miembros, centrándose en la satisfacción tanto del cliente interno como el externo. Podemos definir esta filosofía del siguiente modo: Gestión (el cuerpo directivo está totalmente comprometido) de la Calidad (los requerimientos del cliente son comprendidos y asumidos exactamente) Total (todo miembro de la organización está involucrado, incluso el cliente y el proveedor, cuando esto sea posible).

Ishikawa, un autor reconocido de la gestión de la calidad, proporcionó la siguiente definición respecto a la Calidad Total “Filosofía, cultura, estrategia o estilo de gerencia de una empresa según la cual todas las personas en la misma, estudian, practican, participan y fomentan la mejora continua de la calidad”.

1.2.4.2 Evolución histórica del concepto de calidad

A lo largo de la historia el término Calidad ha sufrido numerosos cambios que conviene reflejar en cuanto a su evolución histórica. Para ello, se describe cada una de las etapas del concepto que se tenía de la Calidad y cuáles eran los objetivos a perseguir:

Etapa	Concepto	Finalidad
Artesanal	Hacer las cosas bien independientemente del costo o esfuerzo necesario para ello.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Satisfacer al cliente.</li> <li>• Satisfacer al artesano, por el trabajo bien hecho</li> <li>• Crear un producto único.</li> </ul>
Revolución Industrial	Hacer muchas cosas no importando que sean de calidad (Se identifica Producción con Calidad).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Satisfacer una gran demanda de bienes.</li> <li>• Obtener beneficios.</li> </ul>
Segunda Guerra Mundial	Asegurar la eficacia del armamento sin importar el costo, con la mayor y más rápida producción (Eficacia + Plazo = Calidad)	Garantizar la disponibilidad de un armamento eficaz en la cantidad y el momento preciso.
Posguerra (Japón)	Hacer las cosas bien a la primera	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Minimizar costes mediante la Calidad</li> <li>• Satisfacer al cliente</li> <li>• Ser competitivo</li> </ul>
Posguerra (Resto del mundo)	Producir, cuanto más mejor	Satisfacer la gran demanda de bienes causada por la guerra
Control de Calidad	Técnicas de inspección en Producción para evitar la salida de bienes defectuosos.	Satisfacer las necesidades técnicas del producto.
Aseguramiento de la Calidad	Sistemas y Procedimientos de la organización para evitar que se produzcan bienes defectuosos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Satisfacer al cliente.</li> <li>• Prevenir errores.</li> <li>• Reducir costes.</li> <li>• Ser competitivo.</li> </ul>
Calidad Total	Teoría de la administración empresarial centrada en la permanente satisfacción de las expectativas del cliente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Satisfacer tanto al cliente externo como interno.</li> <li>• Ser altamente competitivo.</li> <li>• Mejora Continua.</li> </ul>

Esta evolución ayuda a comprender de donde proviene la necesidad de ofrecer una mayor calidad del producto o servicio que se proporciona al cliente y, en definitiva, a la sociedad, y cómo poco a poco se ha ido involucrando toda la organización en la consecuencia

de este fin. La Calidad no se ha convertido únicamente en uno de los requisitos esenciales del producto sino que en la actualidad es un factor estratégico del que dependen la mayor parte de las organizaciones, no sólo para mantener su posición sino incluso para asegurar su supervivencia.

De igual forma las empresas deben todos los días mejorar la calidad, porque mejorando la misma se logra obtener menores costos, aumentar la satisfacción de los clientes y llegar a un mayor número de mercado.

Edificar la excelencia implica dar cumplimiento a siete puntos fundamentales:

- Concientización de propietarios, directivos y empleados acerca de la importancia crucial de la calidad como base y fundamento de la productividad, los costos, la diferenciación, la cuota de mercado, el nivel de ventas, la supervivencia de la empresa, la competitividad y la rentabilidad del capital.
- Tomar la calidad definida por los clientes y/o consumidores, en función a sus necesidades y deseos, procediendo a fijar las especificaciones de los productos y servicios en función de aquellos.
- Determinar los parámetros de los insumos, componentes y procesos a los efectos de lograr cumplir con las especificaciones de los productos y servicios.
- Planear a los efectos de fijar objetivos y políticas en materia de calidad y, determinar consecuentemente las estrategias, tácticas y acciones pertinentes para hacerlas realidad.
- Organizar la empresa a los efectos de establecer las relaciones entre los diversos miembros de la empresa de manera de hacer factible los objetivos en materia de calidad.
- Dirigir y liderar a las fuerzas humanas de la empresa para inspirarlas y motivarlas en búsqueda de la excelencia.
- Implementar sistemas de control a los efectos de medir y corregir el desempeño individual y organizacional para asegurar que los acontecimientos se adecuen a los objetivos trazados.

Los primeros que deben tomar conciencia de la importancia de la calidad son los directivos y propietarios. Los directivos deben ser los que al tomar en consideración la real dimensión de la importancia estratégica que tiene para la empresa alcanzar los más altos niveles de calidad y productividad, deben convencer de ello a propietarios y accionistas, quienes en la búsqueda de los mayores beneficios en el corto plazo, descuidan la trascendencia que tienen para la corporación la mejora continua de los procesos, la inversión en personal mediante la capacitación y desarrollo, así como las actividades de investigación y desarrollo.

Sólo cuando ellos están realmente consustanciados con la necesidad imperiosa de establecer la calidad como objetivo supremo para la supervivencia y competitividad de la corporación, podrán exigir igual concientización al resto del personal. Es ese liderazgo el factor clave y necesario para que lo conceptual pase a la acción mediante hechos concretos.

Debe entenderse que el usuario es quien define la calidad; debiendo la empresa complacer a los clientes y no contentarse sólo con librarlos de sus problemas inmediatos, sino ir más allá para entender a fondo sus necesidades presentes y futuras, a fin de sorprenderlos con productos y servicios que ni siquiera imaginaban. Este conocimiento ya no debe ser sólo del dominio exclusivo de grupos especiales de una organización; sino que debe ser compartido y desarrollado por todos los empleados.

Una empresa que define la calidad sin tomar en cuenta a los consumidores corre con el riesgo de producir bienes y servicios con escasa o nula demanda, ya sea porque los clientes tienen otras expectativas y necesidades, o bien porque los competidores están generando bienes con un mayor valor agregado.

Por tales motivos es esencial para las empresas practicar tanto la investigación de mercado, como la inteligencia competitiva y el benchmarking.

Conocidos los deseos y necesidades de los consumidores, estos deben ser traducidos en términos cuantitativos y tangibles. Entre la técnica más importante para tales fines tenemos el Despliegue de la Función de la Calidad (QFD, siglas de *Quality Function Deployment*), el cual sirve para realizar todo este proceso de traducción, ayudando a que la voz del cliente se despliegue a través de toda la organización.

La función del despliegue de la calidad tiene como objetivo asegurar que se cumplan las expectativas del cliente desde el diseño del producto, durante su proceso de manufactura, y hasta que es utilizado por el consumidor. En japonés se le llama *ten kai*, lo cual significa “despliegue”, refiriéndose a la idea de llevar las necesidades y expectativas del cliente expresados en su lenguaje (voz del cliente) a todos los involucrados en la organización, e ir en cada etapa “traduciéndolas” al lenguaje apropiado.

El procedimiento completo del QFD abarca cuatro fases. En la primera, que se enfoca en el diseño general del producto o servicio, se relacionan y evalúan los atributos requeridos por el cliente con las características técnicas del producto, lo cual da como resultado las especificaciones de diseño. En las siguientes fases de correlación y evaluación se realiza entre las especificaciones de diseño y las características de los principales componentes o partes el producto (fase de diseño a detalle), resultando las especificaciones convenientes para éstas; después las especificaciones de los componentes y partes se correlacionan y evalúan con las características del proceso de producción, obteniendo como resultado las especificaciones de éste; finalmente, las especificaciones del proceso con las características de producción (fase de producción), para tener las especificaciones de producción más apropiadas.

Esta filosofía se basa en que resulta mucho más sencillo incorporar la calidad en esta etapa que forzar a que la tengan productos con diseños complicados y procesos excesivamente complejos.

Planear para la calidad, o tomar con la debida consideración la calidad en la planeación es el tema fundamental de este cuarto punto. Si la calidad debe invadir todas las áreas, actividades y procesos de la organización, es fundamental que ésta tome en cuenta la calidad en cada una de las funciones fundamentales del proceso administrativo, siendo la primera de las funciones la planeación.

La planeación, concebida como la selección de misiones y objetivos, y estrategias, políticas, programas y procedimientos para lograrlos, debe tener en la calidad un punto de referencia. Cuando de objetivos de calidad se trata, la norma ISO 9004 define los objetivos de calidad como elementos fundamentales de calidad, tales como la aptitud para el uso, función,

seguridad y confiabilidad. Además, menciona el cálculo y la evaluación de los costos asociados con todos los objetivos de calidad. Continúa sugiriendo que los objetivos específicos de calidad se documenten y sean consistentes con la política de calidad, así como los otros objetivos de la organización.

Hay cinco tipos de objetivos de calidad:

- Objetivos para el funcionamiento del negocio, dirigidos a los mercados, al entorno y a la sociedad.
- Objetivos para el funcionamiento del producto o servicio, dirigidos a las necesidades del cliente y a la competencia.
- Objetivos para el funcionamiento del proceso, dirigidos a la capacidad, eficiencia y efectividad del proceso, su utilización de recursos y su control.
- Objetivos para el funcionamiento de la organización, dirigidos a la capacidad, eficiencia y efectividad de la organización, su sensibilidad al cambio, el entorno en que las personas trabajan, etc.
- Objetivos para el funcionamiento del trabajador, dirigidos a las habilidades, conocimientos, capacidad, motivación y desarrollo de los trabajadores.

La realización de los objetivos de calidad implica la necesidad de elaborar un programa de calidad anual. El programa debe ser establecido e implantado en cada departamento o, en pequeñas empresas, un único programa que cubra a la organización en su totalidad.

Consiste en establecer una estructura intencional de roles para que sean ocupados por miembros de la organización. Así toda organización crea una estructura para facilitar la coordinación de actividades y para controlar los actos de sus miembros. La estructura misma está compuesta de tres elementos. El primero se refiere al grado en que las actividades de la organización se descomponen o se diferencian. Esto se llama complejidad. En segundo lugar tenemos el grado en que se usan reglas o procedimientos, llamándose al mismo tiempo formalismo. Y por último, tenemos la centralización, la cual se refiere al punto donde radica la autoridad para la toma de decisiones.

El análisis de cada tipo de organización en función a los productos o servicios que genera, determinará los niveles y tipos de complejidad, formalismo y centralización que se requieran para el logro del más alto nivel de calidad y satisfacción de los clientes, haciendo un uso óptimo de los recursos.

En una empresa industrial promedio que pretende la excelencia, deberán disminuirse los niveles de complejidad, incrementar el formalismo a los efectos de una estandarización de su producción y, disminuir la centralización en las decisiones a los efectos de favorecer el empoderamiento (empowerment) y el autocontrol.

Hablar de dirección se refiere al proceso de influir sobre las personas para que contribuyan a las metas de la empresa en materia de calidad y productividad.

Cuando de dirección de calidad se trata, se debe concentrar el análisis en los altos niveles directivos, pues como Juran comprobó (Suzaki, 1993), la parte más importante de los problemas, aproximadamente en alrededor de un 80%, está fuera de control de los trabajadores. El porcentaje más alto de las dificultades reside en procesos, métodos, sistemas, políticas, equipo y materiales, hechos que sólo los directivos pueden cambiar.

Culpar a los empleados es una estrategia poco eficaz para conseguir el mejoramiento; las grandes oportunidades, la mayor ventaja, consiste en mejorar los procesos de trabajo.

El control de calidad es un proceso para mantener estándares, los cuales se mantienen mediante un proceso de selección, medida y corrección de trabajo, de modo que todos los productos o servicios que surjan del proceso cumplan los estándares.

El control de calidad debe efectuarse siguiendo los siguientes pasos:

- Determinar qué parámetros deben controlarse o hacerse objeto de medición
- Establecer su grado de criticidad y, si es necesario, el control antes, durante o después de producir los resultados.
- Establecer una especificación para el parámetro que se desea controlar que proporcione límites de aceptabilidad y unidades de medida.

- Instalar, cuando corresponda y sea factible, un sensor en un punto apropiado del proceso que detecte la variación respecto de la especificación.
- Recoger y transmitir los datos al lugar de análisis.
- Verificar los resultados y diagnosticar la causa de la variación.
- Proponer remedios y decir la acción necesaria para restablecer el status quo.
- Tomar las medidas convenidas y comprobar que se ha corregido la variación.

Es de suma importancia distinguir entre los controles de resultados y los controles de procesos. Los primeros verifican el resultado (variable o atributo) final de un proceso, sea éste un producto o servicio. En tanto que el control de procesos verifica tanto el funcionamiento de los procesos, cómo la calidad de los insumos. De tal forma, asegurando la calidad de los procesos y componentes, se asegura el resultado final.

Mediante la implementación de un software de Tablero de Comando puede integrarse la Gestión de la Calidad Total, pues definidos los puntos de control, las mediciones a efectuar y las especificaciones a cumplir, se determina la responsabilidad de los participantes en el proceso, monitoreándose de manera regular el buen funcionamiento del sistema y los resultados que el mismo genera. De tal forma, por medio de terminales ubicadas en los puntos de control predeterminados, los directivos sabrán al instante de la calidad de los procesos, como así también dispondrán de una alarma ante desvíos a los límites de control.

De igual forma cualquier desvío a los límites de control debe determinar una señal (*andon*) para las demás etapas anteriores del proceso a los efectos de verificar y/o comprobar los problemas que originan las desviaciones.

#### *1.2.4.3. Origen de Seis Sigma*

Originalmente diseñada y utilizada por Motorola, Seis Sigma (*Six Sigma* en inglés) ha trascendido a la empresa que le da origen, convirtiéndose en una nueva filosofía administrativa con una amplia divulgación mundial, sobre la cual se ha desarrollado cantidad de elementos, más allá de lo que sus creadores originales pensaron. El Seis Sigma es un parámetro cuya base

principal es la desviación estándar y su enfoque es reducir la variación y/o defectos en lo que se hace.

El principal planteamiento lo podemos encontrar cuando consideramos la variación de un proceso, con la fluctuación entre más 6 sigma y menos 6 sigma del valor promedio, la probabilidad de que se salga del valor especificado es de 3.4 partes por millón, como se muestra en la Figura 1.2.

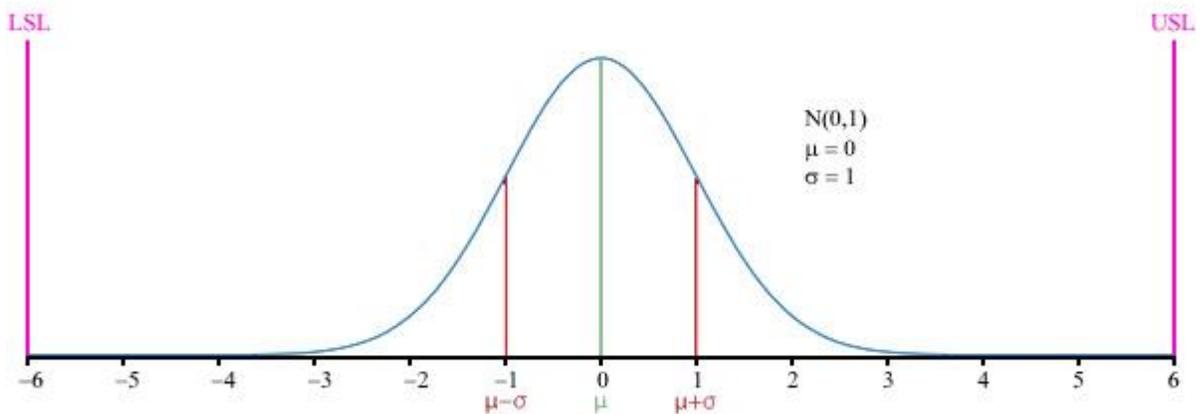


Figura.1.2. Las sigmas bajo la distribución normal.

Seis Sigma, es un enfoque revolucionario de gestión que mide y mejora la calidad. Ha llegado a ser un método de referencia para satisfacer las necesidades de los clientes y, al mismo tiempo, lograrlo con niveles cercanos a la perfección.

El Seis Sigma es un método basado en datos, para elevar la calidad, que corrige los problemas antes de que se presenten. Más específicamente, se trata de un esfuerzo disciplinado para examinar los procesos repetitivos de la empresa.

El valor de Seis Sigma sirve como parámetro de comparación común entre compañías iguales o diferentes o inclusive entre los mismos departamentos de una empresa tan diferentes como compras, diseño, comunicación, producción, mantenimiento o recursos humanos. Todo entra dentro del campo de Seis Sigma. Pero el camino no es nada fácil. Las posibilidades de mejora y ahorro de costos son enormes, pero el proceso Seis Sigma requiere el compromiso de tiempo, talento, dedicación, persistencia y, por supuesto, inversión económica.

Es esencial que el compromiso con el enfoque Seis Sigma comience y permanezca en la alta dirección de la compañía. La experiencia demuestra que cuando la dirección no expresa su visión de la compañía, no transmite firmeza y entusiasmo, no evalúa los resultados y no reconoce los esfuerzos, los programas de mejora se transforman en una pérdida de recursos válidos. El proceso Seis Sigma comienza con la sensibilización de los ejecutivos para llegar a un entendimiento común del enfoque Seis Sigma y para comprender los métodos que permitirán a la compañía alcanzar niveles de Calidad hasta entonces inesperados.

#### *1.2.4.4. Proceso de introducción de Seis Sigma*

El concepto Seis Sigma ayuda a conocer y a comprender los procesos, de tal manera que puedan ser modificados al punto de reducir el desperdicio generado en ellos. Esto se verá reflejado en la reducción de los costos de hacer las cosas, a la vez que permite asegurar que el precio de los productos o servicios sean competitivos, no mediante la reducción de las ganancias o reducción de los costos de hacer bien las cosas, sino de la eliminación de los costos asociados con los errores o desperdicios.

La filosofía Seis Sigma busca ofrecer mejores productos o servicios, de una manera cada vez más rápida y a más bajo costo, mediante la reducción de la variación de cualquiera de nuestros procesos. Aunque a muchas personas les ha costado entender, una de las grandes enseñanzas de Deming fue buscar el control de variación de los procesos lo cual es medido por medio de la desviación estándar. Decía Deming (1994) “el enemigo de todo proceso es la variación, por lo que es ahí en donde debemos encontrar el esfuerzo hacia la mejora continua”, pero sobre todo por qué “la variación es el enemigo de la satisfacción de nuestros clientes”.

El concepto de Seis Sigma provee una medición común, así como objetivos comunes, a la vez que inculca una visión común y sobre todo es que promueve el trabajo en equipo. Adicionalmente combina objetivos agresivos con un método y un conjunto de herramientas, que se aplican a través de todo el ciclo de vida del proceso o servicio. Existe una alta correlación entre la mejora del tiempo de ciclo y la reducción de defectos y costos. Muchas empresas utilizan el concepto de Seis Sigma para establecer un parámetro de negociación durante los procesos de transacción cliente-Proveedor Interno.

Han existido dos filosofías sobre la calidad, la primera de ellas llamada la filosofía antigua, se basaba en cumplir con las especificaciones o requerimientos del cliente, un precursor de ello fue Crosby, con su teoría de que “la calidad no cuesta” y la nueva filosofía la cual predica que las pérdidas de Calidad están basadas en la desviación de la meta u objetivo de acuerdo a los requerimientos o especificaciones. Esto quiere decir que cualquier producto o servicio desviado del centro o meta, no cumple la norma de calidad, sobre ésta última es que se basa el concepto de Seis Sigma.

En el proceso de introducción de Seis Sigma, uno de los conceptos que más se aplica, son una serie de pasos conocidos por sus siglas DMAIC, con lo cual se busca establecer la fuente u origen de la variación. La D significa Definir, la M es Medir, la A es Analizar, la I corresponde a la palabra en inglés Improve, que equivale a Mejorar y la C es Controlar. Podríamos considerarlo como una modificación del ciclo de Deming para la mejora continua de Planear, Hacer, Verificar y Actuar.

Cuando se utilizan los pasos arriba mencionados, es conveniente a efectos de facilitar su aplicación responder a cada una de las siguientes preguntas:

#### **D (DEFINIR)**

- ¿Qué procesos existen en su área?
- ¿De cuáles actividades (procesos) es usted el responsable?
- ¿Quién o quiénes son los encargados de estos procesos?
- ¿Qué personas interactúan en el proceso, directa o indirectamente?
- ¿Quiénes podrían ser parte de un equipo para cambiar el proceso?
- ¿Tiene actualmente información del proceso?
- ¿Qué tipo de información tiene?
- ¿Qué procesos tienen mayor prioridad de mejorarse?
- ¿Cómo lo defino o llegó a esa conclusión?

#### **M (MEDIR)**

- ¿Sabe quiénes son sus clientes?
- ¿Conoce las necesidades de sus clientes?
- ¿Sabe qué es crítico para su cliente, derivado de su proceso?

- ¿Cómo se desarrolla el proceso?
- ¿Cuáles son los pasos?
- ¿Qué tipos de pasos compone el proceso?
- ¿Cuáles son los parámetros de medición del proceso y cómo se relacionan con las necesidades del cliente?
- ¿Por qué son esos los parámetros?
- ¿Cómo obtiene la información?
- ¿Qué tan exacto o que tan preciso es su sistema de medición?

#### **A (ANALIZAR)**

- ¿Cuáles son las especificaciones del cliente para sus parámetros de medición?
- ¿Cómo se desempeña el proceso actual con respecto a esos parámetros?, muestre los datos
- ¿Cuáles son los objetivos de mejora del proceso?
- ¿Cómo los definió?
- ¿Cuáles son las posibles fuentes de variación del proceso? Muestre cuáles y qué son
- ¿Cuáles de esas fuentes de variación controla y cuáles no?
- De las fuentes de variación que controla ¿Cómo las controla y cuál es el método para documentarlas?
- ¿Monitorea las fuentes de variación que no controla?
- ¿Cómo?

#### **I [IMPROVE] (MEJORAR)**

- ¿Las fuentes de variación dependen de un proveedor? Si es así
- ¿Cuáles son?
- ¿Quién es el proveedor?
- ¿Qué está haciendo para monitorearlas y/o controlarlas?
- ¿Qué relación hay entre los parámetros de medición y las variables críticas?
- ¿Interactúan las variables críticas?
- ¿Cómo lo definió? Muestre los datos
- ¿Qué ajustes a las variables son necesarios para optimizar el proceso?
- ¿Cómo los definió? Muestre los datos

## C (CONTROLAR)

Para las variables ajustadas

- ¿Qué tan exacto o preciso es su sistema de medición?
- ¿Cómo lo definió? Muestre los datos
- ¿Qué tanto se ha mejorado el proceso después de los cambios?
- ¿Cómo lo define? Muestre los datos
- ¿Cómo hace que los cambios se mantengan?
- ¿Cómo monitorean los procesos?
- ¿Cuánto tiempo o dinero ha ahorrado con los cambios?
- ¿Cómo lo está documentando? Muestre los datos

Mediante la serie de reflexiones anteriores le permitirá establecer cuál es su actitud respecto de las variaciones y las medidas que se están tomando o se deben tomar para resolverlas o eliminarlas.

### 1.3. PRINCIPIOS DE LA MANUFACTURA ESBELTA

Para descripción de los principios de la Manufactura Esbelta se dividen los temas en los aspectos de carácter técnico y los de carácter tanto técnico como social.

#### 1.3.1. Aspectos técnicos

Cuando los japoneses hablan de desperdicios, la definición de Toyota, es quizás una de las mejores: “cualquier cosa que no sea el *mínimo* de equipo, materiales, partes y trabajadores (tiempo de trabajo) *absolutamente esencial* para la producción”; y esto significa nada de excedentes, nada de existencias de seguridad, nada se almacena. Si no puede usarse ahora, entonces no se puede fabricar ahora y es un desperdicio.

Existen siete elementos básicos en este concepto (Chase y Aquilano, 1995).

1. Redes de fábricas especializadas.
2. Tecnología de grupos.

3. *Jidoka*, calidad en la fuente.
4. Producción Justo a Tiempo.
5. Carga uniforme de planta.
6. Sistema kanban de control de la producción.
7. Tiempos de preparación mínimos.

*Redes de fábricas especializadas.* En vez de construir una gigantesca instalación donde se haga todo (alta integración vertical), los japoneses construyen pequeñas plantas especializadas. Hay varias razones para hacer esto: Primero, es muy difícil administrar una instalación de gran magnitud; conforme aumenta el tamaño, crece la burocracia. Su estilo de gestión no se presta a este tipo de ambiente.

Segundo, una planta diseñada para un propósito específico, se puede construir y manejar de manera más económica que una universal.

Cuando hablamos del enfoque de productividad de los japoneses y de las impresionantes cosas que logran, estamos hablando principalmente del grupo intermedio, donde encajan la mayoría de sus plantas modelo de manufactura.

*Tecnología de grupos:* Dentro de la planta, los japoneses emplean una técnica llamada *tecnología de grupos*. La mayoría de las compañías procesan un trabajo y lo envían de departamento a departamento, porque así es la organización de las plantas (departamento de sierras, de taladros y de tornos). Por lo general, para cada una de las máquinas del departamento hay un empleado que se especializa en esa función. Para que un trabajo pase por el taller, muchas veces se requiere un largo y complicado proceso por causa de los tiempos de espera y de tiempo de movimiento (con frecuencia de 90 y el 95% del tiempo total de procesamiento).

*Jidoka: Calidad en la fuente.* Cuando la gerencia muestra mucha confianza en las personas, se puede implantar un concepto de calidad que los japoneses llaman *Jidoka*. Esta palabra quiere decir “Detengan todo cuando algo salga mal” y equivale a controlar la calidad en la fuente. En vez de utilizar inspectores para encontrar problemas que alguien más pudo crear, en una fábrica japonesa el trabajador se convierte en su propio inspector.

El Jidoka también comprende la inspección automatizada, que en ocasiones se llama *autonomatización*. Los japoneses creen que la inspección, como en la automatización y la robótica la puede realizar una máquina, porque es más rápido, más fácil, más repetible o más redundante, por lo que no debería hacerlo una persona.

*Producción Justo a Tiempo*. El sistema japonés se basa en un concepto fundamental llamado producción Justo a Tiempo. En él se requiere la producción de las unidades necesarias, en las cantidades necesarias y en el momento necesario, para lograr un desempeño con una variación de *cero* en tiempos de programa. Esto significa que producir una pieza adicional es tan malo como producir una de menos. Es más, se considera como desperdicio a cualquier cosa que no forme parte del mínimo necesario, ya el esfuerzo y el material empleados para producir algo que no se necesita no se pueden volver a utilizar.

El concepto *Justo a Tiempo* se aplica principalmente a procesos repetitivos de manufactura. No se necesitan grandes volúmenes, pero está limitado a aquellas operaciones que producen las mismas piezas una y otra vez.

En el sistema Justo a Tiempo, el tamaño ideal del lote *es una pieza*. Los japoneses consideran al proceso de manufactura como una gigantesca red de centros de trabajo conectados entre sí, donde la disposición perfecta sería que cada trabajador completara su tarea en una pieza y la pasara directamente al siguiente trabajador en el momento en que éste estuviera listo para recibir otra pieza. La idea es aproximar a cero las colas de espera, para:

- Invertir lo mínimo en inventarios.
- Reducir los tiempos de entrega de la producción.
- Reaccionar más rápidamente ante cambios en la demanda.
- Descubrir cualquier problema en la calidad.

*Carga uniforme de plantas*. El punto de partida es lo que los japoneses llaman *carga uniforme de planta*. Su objetivo es absorber las reacciones normales ante variaciones en los programas de trabajo. Por ejemplo, cuando se implanta un cambio importante en el montaje final, cambian las necesidades de las operaciones de alimentación, que por lo general se amplifican con las reglas de tamaño de lotes, disposiciones, colas y tiempo de espera.

Los japoneses dicen que la única manera de eliminar este problema es hacer que las perturbaciones finales sean lo más pequeñas posible. Las compañías japonesas lo logran estableciendo un firme plan de producción mensual donde se congela la tasa de producción.

*Sistema kanban de control de la producción.* El método kanban requiere un sistema de control sencillo, autorregulable, que proporcione buena visibilidad a la gerencia. El sistema de control y entrega del taller y de los proveedores se llama *kanban*, nombre que proviene de la palabra japonesa que significa *tarjeta*. Es un sistema sin papeles, que utiliza contenedores y tarjetas o necesidades viajeras que se reciclan, lo cual difiere de nuestros viejos sistemas manuales de paquetes para el taller. Se le conoce como sistema de jalar kanban, ya que la autorización para producir o abastecer proviene de las operaciones que están más adelante en el flujo.

Existen dos tipos de tarjetas kanban: el de producción autoriza la manufactura de un contenedor de material; el de retiro permite su desplazamiento. El número de piezas de un contenedor es siempre el mismo, para una pieza determinada.

Todo el sistema depende de que cada persona haga lo que está autorizado y siga al pie de la letra los procedimientos. De hecho, los japoneses no emplean coordinadores de producción en el taller y confían sólo en supervisores para asegurar el cumplimiento. La actitud cooperativa de los trabajadores es esencial para su éxito.

Los resultados pueden ser impresionantes. Un fabricante de componentes de frenos afiliado a Bendix en Japón, instaló en 1977 el sistema Justo a Tiempo, con ayuda de su cliente, Toyota. En sólo dos años duplicaron la producción, triplicaron la rotación de inventarios y redujeron considerablemente el tiempo extra y las necesidades de espacio. Con esta experiencia se observó en la empresa que era un proceso de aprendizaje lento y difícil para sus empleados, aun tomando en cuenta la cultura japonesa, porque había que tirar por la ventana todas las viejas reglas empíricas y cambiar ideas muy arraigadas.

*Tiempos mínimos de preparación.* El método japonés de productividad exige que se produzcan pequeños lotes. Esto es imposible si la preparación de las máquinas tarda horas. Es más, en Estados Unidos se utiliza la fórmula del lote económico de pedido (*EOQ, economic*

*order quantity*) para determinar cuánto se debe producir para absorber un tiempo de preparación largo y costoso.

Los japoneses tienen la misma fórmula, pero la han invertido. En vez de aceptar los tiempos de preparación como números fijos, fijaron los tamaños de lotes (muy pequeños) y trabajaron en la reducción del tiempo de preparación.

Es fácil lograr una reducción del tiempo de preparación si se enfoca desde la perspectiva de la ingeniería de métodos. Los japoneses separan el tiempo de preparación en dos categorías: *interna* (actividades que deben hacerse cuando la máquina está detenida), y *externa* (actividades que pueden hacerse mientras la máquina funciona). Las cosas sencillas, como la fijación de troqueles a causa de un reemplazo, corresponden a la categoría externa, que en promedio representa la mitad del tiempo de preparación.

También se puede lograr otra reducción del 50% con la aplicación del estudio y la práctica de tiempos y movimientos. Es común ver dispositivos de ahorro de tiempo, como pernos articulados, plataformas rodantes y ménsulas plegables para andamiajes temporales de troqueles, todos ellos artículos de bajo costo.

Los ahorros en el tiempo de preparación se usan para aumentar el número de lotes producidos, lo que ocasiona una reducción de los tamaños de lote. Esto hace factible la producción Justo a Tiempo, lo que a su vez hace práctico el sistema de control kanban. Todas las piezas encajan.

Se considera desperdicio “cualquier cosa que no sea la cantidad mínima necesaria de equipo, materiales, componentes, espacio y tiempo del trabajador, que sean absolutamente esenciales para añadir valor al producto”. Los siete tipos de desperdicios más importantes son los de sobreproducción, de tiempo de espera, de transporte, de inventario, de procesamiento, de movimientos y de defectos en los productos.

#### *1.3.1.1. Desperdicios por sobreproducción*

La sobreproducción es un problema tan serio durante las alzas del mercado, pero se convierte en bienes no vendidos durante las bajas. Esto sucede si se adelanta a la producción. Es uno de los peores desperdicios. En la sobreproducción se consumen más materias primas que las necesarias; esto requiere también mayor manejo de materiales, espacio adicional, y otros factores. La sobreproducción también confunde el ambiente, al distraer a los trabajadores, lo que aumenta la confusión acerca de qué debe hacerse primero, etc.

#### *1.3.1.2. Desperdicios por tiempo de espera*

La sobreproducción ocasiona excesos en inventario y también tiende a ocultar el tiempo inactivo de los trabajadores. Si éstos sólo producen la cantidad requerida y no se permite que adelanten su trabajo, es evidente su inactividad. De esta manera se puede emprender las acciones apropiadas o aprovechar su tiempo de otra manera.

También se desperdicia tiempo si la tarea del trabajador consiste en ver cómo funciona una máquina. En vez de emplear en esto a una persona, se puede equipar a la máquina con una alarma o un interruptor de parada automática que se active cuando surja la necesidad de detenerla.

#### *1.3.1.3. Desperdicio por transporte*

El movimiento de materiales es costoso y consume mucho tiempo. Pueden existir oportunidades para que los materiales que llegan se entreguen al lugar de producción, por ejemplo, y no almacenarlos en otro lugar y luego moverlos una segunda vez. También hay que considerar las distancias entre los procesos de producción. Se puede eliminar el desperdicio por transporte con mejoras en la distribución en planta, en la coordinación de procesos, en los métodos de transporte, en la limpieza y en la organización del área de trabajo.

#### *1.3.1.4. Desperdicios por procesamiento*

El método de producción que se usa puede ser una fuente de desperdicios, si hay manera de mejorarlo. Por ejemplo, una operación de troquelado puede requerir otro trabajador que lime y pula las superficies. Si se rediseñara el troquel o modificara el producto, tal vez no sería necesario el trabajo del acabado. También se podrían cambiar las herramientas y los accesorios para ahorrar tiempo del operador.

#### *1.3.1.5. Desperdicio por inventario*

El exceso de inventario puede tener como causa el primer elemento: la sobreproducción. Esto tiene como consecuencia mayor manipulación, más espacio, costo adicional por intereses, trabajadores adicionales, más papeleo, etc. Debe existir un esfuerzo consciente para descartar el inventario obsoleto, utilizar lotes más pequeños para la manufactura y las compras, y evitar la programación adelantada con respecto al programa de trabajo.

#### *1.3.1.6. Desperdicio de movimientos*

Los movimientos deben ser eficientes, y las áreas de trabajo deben estar bien diseñadas. El tiempo que se emplea para encontrar una herramienta es un desperdicio. Incluso las caminatas pueden ser un desperdicio que puede corregirse con una nueva disposición de las instalaciones de trabajo.

#### *1.3.1.7. Desperdicio por defectos en producto*

Surgen desperdicios del trabajo de ajuste, de la inspección que puede ser necesaria, del desmontaje de productos, del tiempo desperdiciado por estaciones de trabajo subsecuentes que esperan el producto corregido, del producto si se desecha y, lo que es más importante, del cliente (por garantías, pérdida de ventas potenciales, etcétera).

### 1.3.2. Aspectos socio-técnicos

El elemento socio-técnico de los principios de la Manufactura Esbelta marca una diferencia con las visiones occidentales, casi exclusivamente dedicadas a aspectos técnicos. Dentro del nuevo pensamiento se incorporan principalmente argumentos como la participación y la multifuncionalidad de los operarios.

La estructura laboral anterior significaba una división del trabajo, de modo que en el taller existía un encargado de la limpieza, otro de la instalación de las herramientas, uno más de la preparación de las máquinas y otros, del mantenimiento, la fabricación y la inspección. En el concepto moderno surge la multifuncionalidad (o polivalencia) de los operarios, que son capaces de realizar todas esas tareas, con las ventajas de la flexibilidad, al no tener que esperar por el especialista en caso necesario, y de la mayor penetración del trabajo, al haber un mayor conocimiento del operario por su proceso.

La parte fundamental en el proceso de desarrollo de una estrategia esbelta es la que respecta al personal, ya que muchas veces implica cambios radicales en la manera de trabajar, algo que por naturaleza causa desconfianza y temor. Lo que descubrieron los japoneses es, que más que una técnica, se trata de un buen régimen de relaciones humanas. En el pasado se han desperdiciado la inteligencia y la creatividad del trabajador, a quien se le contrata como si fuera una máquina. Es muy común que, cuando un empleado de los niveles bajos del organigrama se presenta con una idea o propuesta, se le critique e incluso se le calle. A veces los directores no comprenden que, cada vez que le “apagan el foquito” a un trabajador, están desperdiciando dinero. El concepto de Manufactura Esbelta implica la anulación de los mandos y su reemplazo por el liderazgo. La palabra líder es la clave.

#### ***Respeto por las personas.***

El segundo aspecto que guía a los japoneses, junto con la eliminación de los desperdicios, es el respeto a las personas. Este principio también tiene siete elementos básicos (Chase y Aquilano, 1995):

1. Empleo para toda la vida.
2. Sindicatos.
3. Actitud hacia los trabajadores.
4. Automatización y robótica.
5. Dirección participativa.
6. Redes de subcontratistas.
7. Círculos de calidad.

*Empleo para toda la vida.* Cuando se contrata a un japonés para un puesto permanente en una de las principales empresas industriales, tiene empleo para toda la vida (o hasta llegar a la edad de la jubilación) en esa compañía, siempre que trabaje con diligencia. Si las condiciones económicas son difíciles, la compañía mantiene la nómina casi hasta el punto de quebrar. No obstante, debemos comprender que estas prestaciones sólo se aplican a los trabajadores permanentes, que constituyen una tercera parte de la fuerza de trabajo de Japón. Lo importante de este concepto son sus repercusiones. Cuando las personas consideran a una compañía como el lugar donde trabajarán toda su vida, no sólo como un lugar temporal donde recibirán un cheque, tienden a ser más flexibles y harán todo lo que puedan para ayudar a alcanzar los objetivos de la compañía.

*Sindicatos.* El general Douglas Mac Arthur introdujo en Japón el concepto de sindicato durante el periodo de reconstrucción posterior a la Segunda Guerra Mundial. Sin duda, tenía en mente el concepto del gremio, pero no lo vieron así los japoneses. Los trabajadores de Toyota se preocupaban por Toyota; en realidad no se identificaban con los empleados de otras fábricas de automóviles del resto del país. Su identificación no se basaba en el tipo de trabajo que hacían, sino en la compañía en la cual trabajaban. Así, Toyota formó un sindicato que incluía a todos sus trabajadores, sin importar su oficio. El objetivo del sindicato y de la gerencia era lograr la máxima salud de la compañía para que se acumularan de manera segura y compartida las prestaciones para los trabajadores. De esta forma la relación era de cooperación, no de enfrentamiento.

En las compañías japonesas, todos los empleados reciben un bono dos veces por año. En las buenas temporadas el bono es elevado (hasta del 50% de sus salarios), mientras que en las temporadas malas es posible que no exista ningún bono. Como resultado de todo esto, los empleados piensan: “Si a la compañía le va bien, a mi me va bien”, lo que es muy importante a la hora solicitar la ayuda de los trabajadores para mejorar productividad.

*Actitud hacia los trabajadores.* También es decisiva la actitud de la gerencia hacia los trabajadores. Los japoneses no consideran a las personas como máquinas humanas. Es más, consideran que si una máquina puede realizar un trabajo, entonces no debe hacerlo una persona, ya que no sería digno de ella. Un concepto afín establece que si los trabajadores realmente son tan importantes como personas, entonces hay que creer que pueden hacer mucho más de lo que actualmente se les permite hacer.

Los japoneses dicen: “Lo que hacen ahora los trabajadores es sólo una muestra de su capacidad. Debemos darles la oportunidad para hacer más”. De esta manera, hay una tercera actitud, la más importante, que requiere que el sistema de dirección brinde a cada trabajador la oportunidad de mostrar el máximo de sus capacidades. Estos conceptos no sólo se analizan, sino que se llevan a la práctica, y los japoneses gastan más en capacitación y educación en los empleados (a todos los niveles) que cualquier otra nación industrializada.

*Automatización y robótica.* Cuando la gente se siente segura, se identifica con la compañía y cree que tiene la oportunidad de desplegar todos sus talentos; no considera que la automatización y la robótica sean una medida de recorte de personal, sino una manera de eliminar trabajos tediosos para que las personas puedan hacer cosas más importantes.

Los japoneses creen sinceramente que los robots liberan a la gente para que realice tareas más importantes; por esto, es mínima la resistencia de los trabajadores a sus implantaciones. Es más, ellos hacen todo lo posible para determinar qué trabajos son más aburridos y cómo pueden eludirse porque saben que las compañías les encontrará algo mejor y más interesante.

*Dirección participativa.* Esta especie de confianza mutua es una muestra del estilo de dirección que los japoneses llaman *dirección participativa*; también se conoce como *dirección*

*por consenso o dirección por comités.* Es algo innato en los japoneses, pues han crecido con la idea de que el grupo es más importante que el individuo. El individuo no puede funcionar independientemente, sin tomar en cuenta a los demás, porque lo único que lograría es perder el ritmo con respecto al resto del grupo y arruinar el proceso.

La dirección participativa es un lento proceso de toma de decisiones. En su lucha por lograr el consenso, que no un compromiso, los japoneses hacen participar a todas las secciones que tengan un interés potencial, interrumpen con frecuencia el proceso, buscan más información y continúan intercambiando opiniones hasta que todos estén de acuerdo. Muchas veces se ha criticado la lentitud de este método, pero los japoneses tienen una respuesta interesante.

Ellos dicen: “Ustedes toman una decisión precipitada y luego emplean mucho tiempo para implantarla. Deciden con tal rapidez- sin consultar a todas las personas que se verán afectadas- que al poner en marcha un plan encuentran obstáculos imprevistos. En nuestro sistema, tardamos mucho para tomar una decisión, pero muy poco para implantarla, ya que al llegar a una conclusión todos han expuesto su punto de vista”.

Una de las claves de la dirección participativa es que se toman las decisiones al nivel más bajo posible. En esencia, los empleados identifican un problema, encuentran una posible solución en conjunto con sus colegas y después hacen recomendaciones al siguiente nivel de la gerencia. Éstos hacen lo mismo y formulan la siguiente recomendación para el nivel superior. Así sigue y todos participan. El resultado: la alta gerencia de las compañías japonesas toma muy pocas decisiones de carácter operativo y se dedican casi de lleno a la planificación estratégica.

*Redes de subcontratistas.* La naturaleza especializada de las fábricas japonesas ha alentado al desarrollo de una enorme red de subcontratistas; la mayoría de éstos tienen menos de 30 empleados. Más del 90% de las compañías japonesas forman parte de la red de proveedores, la cual tiene muchos niveles porque hay muy poca integración vertical en las fábricas.

Existen dos tipos de proveedores: los especialistas en un campo, que atienden a varios consumidores y los cautivos, que por lo general fabrican una pequeña variedad de piezas para un solo cliente; éste es el tipo predominante en Japón.

En Japón, los negocios con un proveedor único funcionan bien porque las relaciones se basan en una enorme confianza mutua.

Como muchos de los proveedores son pequeños y carecen de capital, los clientes japoneses les entregan dinero por adelantado para financiarlos, de ser necesario. Los ingenieros de proceso y el personal de control de calidad del cliente ayudan a los proveedores a mejorar su sistema de manufactura y a cumplir con las estrictas normas de calidad y de entrega que les imponen.

### **1.3.3. Los 5 Principios del Pensamiento Esbelto**

Llevando el pensamiento esbelto a su esencia, se han estructurado los siguientes cinco principios que los fundamentan (Womack y Jones, 2003):

1. Definir el valor desde el punto de vista del cliente: La mayoría de los clientes quieren comprar una solución, no un producto o servicio.
2. Identificar el flujo de valor: Eliminar desperdicios encontrando pasos que no agregan valor, algunos son inevitables y otros son eliminados inmediatamente.
3. Crear flujo: Hace que todo el proceso fluya suave y directamente de un paso que agregue valor a otro, desde la materia prima hasta el consumidor.
4. Producir el “Jalar” con el cliente: Una vez hecho el flujo, serán capaces de producir por órdenes de los clientes en vez de producir basado en pronósticos de ventas a largo plazo.
5. Perseguir la perfección: Una vez que una empresa consigue los primeros cuatro pasos, se vuelve claro para aquellos que están involucrados, que añadir eficiencia siempre es posible.

## **1.4. HERRAMIENTAS DE LA MANUFACTURA ESBELTA**

Dentro de la Manufactura Esbelta se encuentra una variedad grande de herramientas o técnicas, según los autores. Haciendo un recuento general de las que aparecen con mayor

frecuencia y que se observan más eficaces para el logro de procesos más esbeltos al buscar la reducción de desperdicios, se describen a continuación las nueve herramientas más importantes.

#### **1.4.1. Mapeo del Flujo de Valor**

El mapeo del flujo de valor (VSM, por las siglas en inglés de *Value Stream Mapping*) es una herramienta importante para mejorar la productividad y la reducción del desperdicio que una organización puede emplear para evaluar sus procesos. El mapeo del flujo de valor se define como el proceso de evaluación de cada componente o etapa de la producción, con fin de determinar el grado en que contribuye a la eficiencia operacional o a la calidad del producto. Este proceso de mejora continua pasa por tres etapas repetitivas; evaluación, análisis y ajustes. A lo largo de éstas se efectúan cambios y modificaciones con el fin de mejorar aún más el proceso y eliminar el desperdicio.

Son numerosas las ventajas de usar el VSM, como la evaluación de la rentabilidad, la eficiencia y la productividad de la compañía. En particular, en el diseño de instalaciones y manejo de materiales, el VSM reduce o elimina en forma evidente el exceso de manejo de materiales, elimina espacios desperdiciados, crea un mejor control de todas las formas de inventarios y hace más eficientes varias etapas de la producción (Serrano, 2007).

En concreto, el VSM es una técnica gráfica que, mediante el empleo de iconos normalizados, integra en una misma figura flujos logísticos de materiales y de información. Comenzó a emplearse en Toyota con el nombre de “mapeado del flujo de materiales y de información” y fue finalmente desarrollada por Rother y Shook (1999).

El propósito de la herramienta es mapear las actividades con y sin valor añadido necesarias para llevar una familia de productos desde materia prima a producto terminado, con el objeto de localizar oportunidades de mejora mediante unas pautas basadas en conceptos de Manufactura Esbelta para posteriormente graficar un posible estado futuro y lanzar proyectos de mejora. Dicho cartografiado o mapeado se enmarca dentro del contexto del pensamiento

esbelto. Concretamente, el mapeado se situaría en la segunda de las etapas citadas en el apartado 1.3.3.

Por otro lado, el VSM también ha sido adaptado y evolucionado a situaciones de planta con características más complejas en las que la demanda es más aleatoria, la cantidad de referencias es muy variada y de difícil agrupación; conjuntamente, hay gran cantidad de procesos, muchos de ellos compartidos con otras familias y por tanto los flujos se vuelven complicados.

Las etapas principales de un proyecto de mapeado se pueden resumir en los siguientes puntos (Rother y Shook, 1999):

1. Elección de una familia de productos
2. Mapeado de la situación actual o inicial
3. Mapeado de la situación futura
4. Definición de un plan de trabajo
5. Implantación de un plan de trabajo

No hay demasiadas referencias escritas que expongan cuánto debe durar la aplicación de las primeras cuatro etapas. Los principales autores reseñan que es una herramienta de sencilla aplicación, o que el mapa inicial puede ser realizado en un día y el mapa futuro en otro y Womack por su parte, considera unos pocos días para los dos mapas.

Previo al inicio de las etapas, los autores aconsejan la creación de un equipo multifuncional de 3 a 7 miembros en el que la figura del responsable del flujo del valor o *value stream manager* será el encargado en liderar el proceso VSM y el plan de implantación posterior. Éste, ha de ser un conocedor del flujo de valor de la familia de productos a tratar y por otro lado ha de poseer los siguientes atributos:

- Un sentido de propiedad de producto
- Un sentido de compromiso hacia la producción esbelta
- Autoridad para hacer que los cambios se produzcan a través de funciones y departamentos
- Autoridad para conseguir recursos

Es necesario focalizar el proceso de mapeado en una única familia de productos, graficar todas las referencias que se producen en la planta resulta complicado y no conduce a desarrollar de manera adecuada las pautas de la producción esbelta.

Como familia de producto se podría definir a un grupo de productos que pasan por similares procesos de operación y equipamiento hasta expedirlos al cliente.

La búsqueda de familias de productos puede no resultar una tarea fácil a simple vista, sobre en todo en casos de plantas fabriles funcionales. Se han desarrollado y se siguen desarrollando algoritmos y métodos para la asignación de familias, dichos métodos han sido desplegados para dirigir el rediseño de las distribuciones en planta funcionales u orientadas al proceso a distribuciones orientadas al flujo de productos.

#### **1.4.2. Calidad en la Fuente y Dispositivos contra Error (Jidoka y Poka-Yoke)**

##### *1.4.2.1. Jidoka*

La palabra *Jidoka* significa verificación en el proceso. Cuando en el proceso de producción se instalan sistemas Jidoka se refiere a la verificación de calidad integrada al proceso.

De la definición de la filosofía Justo a Tiempo ya se desprende que, desde una óptica de servicio al cliente, la calidad es un fin en sí misma dentro del JIT. Por otra parte, desde un punto de vista de funcionamiento interno, la calidad es un elemento clave para asegurar el éxito de una fabricación *pull* que pretende trabajar con cero inventarios, ya que la aparición de productos defectuosos impediría la entrega Justo a Tiempo, ocasionaría una serie de despilfarros no admisibles bajo esta filosofía y no permitiría un flujo regular y sincronizado de la producción

La filosofía Jidoka establece los parámetros óptimos de calidad en el proceso de producción, el sistema Jidoka compara los parámetros del proceso de producción contra los estándares establecidos y hace la comparación, si los parámetros del proceso no corresponden

a los estándares preestablecidos el proceso se detiene, alertando que existe una situación inestable en el proceso de producción la cual debe ser corregida, esto con el fin de evitar la producción masiva de partes o productos defectuosos, los procesos Jidoka son sistemas comparativos de lo “ideal” o “estándar” contra los resultados actuales en producción. Dependiendo del producto es el tipo o diseño del sistema Jidoka que se debe implantar. La información que se alimenta como ideal o estándar debe ser el punto óptimo de calidad del producto.

No cabe duda de que la autoinspección, donde el propio trabajador inspecciona cada una de las piezas realizadas, justo en el momento en que la realiza, es el método que asegura una retroalimentación más rápida. En este sentido, podía ser la técnica más adecuada para los fines perseguidos; sin embargo, es verdad que presenta una serie de inconvenientes, además de la necesidad de formación y motivación del trabajador: éste puede realizar juicios de compromiso y aceptar artículos que deberían rechazarse, o bien cometer errores de inspección no intencionados.

Jidoka puede referirse a equipo que se detiene automáticamente bajo las condiciones anormales. Jidoka también se usa cuando un miembro del equipo encuentra un problema en su estación de trabajo. Los miembros del equipo son responsables para corregir el problema –si ellos no pueden, ellos pueden detener la línea-. El objetivo de Jidoka puede resumirse como:

- Aseguramiento de la calidad el 100% del tiempo
- Prevención de las descomposturas de equipo
- Uso eficaz de la mano de obra

#### *1.4.2.2. Poka-Yoke*

Poka-Yoke es una técnica de calidad desarrollada por el ingeniero japonés Shigeo Shingo en los años 60, que significa “a prueba de errores”. La idea principal es la de crear un proceso donde los errores sean imposibles de ocurrir.

La finalidad del Poka-Yoke es la de eliminar los defectos en un producto ya sea previniendo o corrigiendo los errores que se presenten lo antes posible. Un dispositivo Poka-

Yoke es cualquier mecanismo que ayuda a prevenir los errores antes de que sucedan, o los hace sean muy obvios para que el trabajador se dé cuenta y los corrija a tiempo.

El sistema Poka-Yoke, o libre de errores es un conjunto de métodos para prevenir errores humanos que se convierten en defectos del producto final. El concepto es simple: si no se permite que los errores se presenten en la línea de producción, entonces la calidad será alta y el retrabajo poco. Esto aumenta la satisfacción del cliente y disminuye los costos al mismo tiempo. El resultado es de alto valor para el cliente. No solamente es el simple concepto, pero normalmente las herramientas y/o dispositivos son también simples.

Los sistemas Poka-Yoke implican el llevar a cabo el 100% de inspección, así como, retroalimentación y acción inmediata cuando los defectos o errores ocurren. Este enfoque resuelve los problemas de la vieja creencia que el 100% de la inspección toma mucho tiempo y trabajo, por lo que tiene un costo muy alto.

La práctica del sistema Poka-Yoke se realiza más frecuentemente en la comunidad manufacturera para enriquecer la calidad de sus productos previniendo errores en la línea de producción.

Un *Poka-Yoke* (en japonés, literalmente *a prueba de errores*) es un dispositivo (generalmente) destinado a evitar errores; algunos autores manejan el Poka-Yoke como un *sistema anti-tonto* el cual garantiza la seguridad de los usuarios de cualquier maquinaria, proceso o procedimiento, en el cual se encuentren relacionados, de esta manera, no provocando accidentes de cualquier tipo; originalmente que piezas mal fabricadas siguieran en proceso con el consiguiente costo. Aunque con anterioridad ya existían *Poka-Yokes*, no fue hasta su introducción en Toyota cuando se convirtieron en una técnica, hoy común, de calidad.

Afirmaba Shingo que la causa de los errores estaba en los trabajadores y los defectos en las piezas fabricadas se producían por no corregir aquellos. Consecuente con tal premisa cabían dos posibilidades u objetivos a lograr con el *Poka-Yoke*:

- Imposibilitar de algún modo el error humano; por ejemplo, los cables para la recarga de baterías de teléfonos móviles y dispositivos de corriente continua sólo

pueden conectarse con la polaridad correcta, siendo imposible invertirla, ya que los pines de conexión son de distinto tamaño o forma.

- Resaltar el error cometido de tal manera que sea obvio para el que lo ha cometido. Shingo cita el siguiente ejemplo: un trabajador ha de montar dos pulsadores en un dispositivo colocando debajo de ellos un muelle; para evitar la falta de éste último en alguno de los pulsadores se hizo que el trabajador atrapara antes de cada montaje dos muelles de la caja donde se almacenaban todos y los depositara en una bandeja o plato; una vez finalizado el montaje, el trabajador se podía percatar de inmediato del olvido con un simple vistazo a la bandeja, algo imposible de hacer observando la caja donde se apilaban montones de muelles.

Actualmente los *Poka-Yokes* suelen consistir en:

- Un sistema de detección, cuyo tipo dependerá de la característica a controlar y en función del cual se suelen clasificar, y
- Un sistema de alarma (visual y sonora comúnmente) que avisa al trabajador de producirse el error para que lo subsane.

Clasificación de los métodos Poka-Yoke:

1. Métodos de contacto: Son métodos donde un dispositivo sensitivo detecta las anomalías en el acabado o las dimensiones de la pieza, donde puede o no haber contacto entre el dispositivo y el producto.
2. Método de valor fijo. Con este método, las anomalías son detectadas por medio de la inspección de un número específico de movimientos, en casos donde las operaciones deben de repetirse un número predeterminado de veces.
3. Método del paso-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. Este extremadamente efectivo método tiene un amplio rango de aplicación, y la posibilidad de su uso debe de considerarse siempre que se este planeando la implantación de un dispositivo Poka-Yoke.

### 1.4.3. Mantenimiento Productivo Total (TPM)

El TPM (*Total Productive Maintenance*) se orienta a crear un sistema corporativo que maximiza la eficiencia de todo el sistema productivo, estableciendo un sistema que previene las pérdidas en todas las operaciones de la empresa. Esto incluye “cero accidentes, cero defectos y cero fallos” en todo el ciclo de vida del sistema productivo. Se aplica en todos los sectores, incluyendo producción, desarrollo y departamentos administrativos. Se apoya en la participación de todos los integrantes de la empresa, desde la alta dirección hasta los niveles operativos. La obtención de cero pérdidas se logra a través del trabajo de pequeños equipos.

El TPM tiene como propósito en las acciones cotidianas que los equipos operen sin averías ni fallos, eliminar toda clase de pérdidas, mejorar la fiabilidad de los equipos y emplear verdaderamente la capacidad industrial instalada.

El TPM permite diferenciar una organización en relación a su competencia debido al impacto en la reducción de los costos, mejora de los tiempos de respuesta, fiabilidad de suministros, el conocimiento que poseen las personas y la calidad de los productos y servicios finales.

En definitiva, en un sistema que pretenda trabajar con cero inventarios las averías no sólo afectan a la máquina que las sufre sino que sus efectos pueden extenderse al resto del proceso productivo, provocando en este una pérdida de eficiencia global del sistema y aumento de los plazos de fabricación. Son este tipo de argumentaciones las que justifican que un buen proceso de mantenimiento de las máquinas sea una pieza fundamental para el pleno desarrollo y el éxito de la fabricación Justo a Tiempo.

El desarrollo de estos aspectos en las industrias japonesas ha desembocado en una cierta superación de los conceptos clásicos de mantenimiento, en los cuales se emprendían acciones correctoras cuando ya se había producido una avería o, en el mejor de los casos, se intentaba adoptar medidas preventivas con la realización de revisiones periódicas.

En un programa de mantenimiento productivo total cada trabajador es responsable de desarrollar sobre su propio puesto de trabajo actividades como las siguientes:

- Limpiar todo el polvo y basura, lubricar y ajustarlas piezas, detectar y reparar defectos de funcionamiento.
- Adoptar medidas contra las fuentes de averías, previendo las causas de polvo, basura y desajustes.
- Proponer sistemas estándar para realizar las actividades de mantenimiento en el menor tiempo posible.
- Detectar y reparar defectos menores del equipo a través de chequeos globales.
- Mantener su puesto de trabajo con el orden apropiado, eliminando los objetos innecesarios y disponiendo los necesarios de la forma mas adecuada posible.

Delegar estos aspectos de mantenimiento a los operarios de las máquinas tiene dos ventajas fundamentales. En primer lugar, los operarios son probablemente los que más saben del funcionamiento de las máquinas y, por tanto, las personas más adecuadas para detectar ruidos, desgastes o vibraciones no habituales. En segundo lugar, se da a los operarios una cierta sensación de propiedad sobre aquéllas, por lo que se sienten más responsables a la hora de evitar posibles averías.

El TPM puede contribuir a conseguir las siguientes ventajas para la empresa que lo apliquen:

- Reducciones significativas del número de averías imprevistas.
- Aumento del grado de utilización de las máquinas y de su productividad
- Decrementos del índice de defectos y de las reclamaciones de los clientes
- Disminución de los costos de mantenimiento.
- Disminución de los accidentes laborales
- Aumento de grado de satisfacción de los trabajadores

Por último la implantación de un sistema de TPM es uno de los pasos fundamentales en el proceso de maduración hacia una producción sin inventarios. Sin un programa que prevenga y evite las averías, cualquier sistema que pretenda una producción sin inventarios fallará al no eliminar una de las principales fuentes de problemas.

#### **1.4.4. Grupos de mejora (Soikufu)**

Se trata de los programas de recolección y aprovechamiento de las ideas y sugerencias de los trabajadores para mejorar las operaciones e incrementar la productividad: Soikufu. El enfoque de producción esbelta dedica grandes esfuerzos a incrementar la productividad de la planta a través de mejoras graduales en el proceso productivo, pero igual énfasis pone en desarrollar estas mejoras conservando un gran respeto por la dimensión humana. El convencimiento de que son los trabajadores los que mejor conocen las distintas operaciones de producción, hace que se les otorgue participación y protagonismo en cualquier proceso de mejora, instrumentando una serie de mecanismos para aprovechar sus ideas y sugerencias en beneficio de la empresa y del propio trabajador. En los aspectos técnicos del incremento de productividad, el JIT dirige las mejoras tanto al perfeccionamiento de las operaciones manuales como a las realizadas por la maquinaria. Con respecto a las primeras, intenta en todo momento eliminar las del carácter innecesario (tiempos de espera, transportes dobles, etc.) y disminuir aquellas otras, nacidas de un mal diseño del proceso productivo, que no aportan valor añadido. Además con cualquier modificación o eliminación de las tareas actuales, se intenta reasignarlas entre los trabajadores de forma que se reduzca el número de estos asignado a una determinada línea de producción.

En una segunda fase de mejora, sería considerado cualquier proceso que implicase una mayor automatización de la planta a través de la introducción de nuevos equipos o de nueva tecnología. Si ésta se acepta, se aconseja que las máquinas sean de tipo universal y de bajo costo, pues ello facilitaría una respuesta flexible a los cambios de volumen y tipo de demanda. Sin embargo, esta fase no debe ser abordada hasta que se haya conseguido un nivel adecuado de mejoras en las actividades manuales.

El concepto Soikufu supone la implantación de sistemas de sugerencias individuales y de grupos reducidos, como los Círculos de Calidad. Éstos constituyen pequeños grupos de 10 a 12 personas que se reúnen periódicamente para discutir los aspectos relacionados con su entorno de trabajo que pueden ser mejorados. La actividad de estos grupos data de hace aproximadamente 25 años, cuando los fabricantes japoneses trataban de mejorar la calidad de sus productos en los mercados internacionales.

Con la implantación de los círculos de calidad se consiguen entre otras, las siguientes ventajas:

- Fomentar grupos de estudio en los que participen mandos y obreros
- Dinamizar las capacidades individuales
- Aplicar los resultados obtenidos a las fábricas para conseguir una dirección más eficiente y un mejor entorno de trabajo
- Enriquecer la personalidad del trabajador, su integración y participación en el grupo de trabajo
- Contribuir a la formación permanente de los trabajadores

#### **1.4.5. Adaptación mediante flexibilidad (Shojinka)**

Las empresas suelen tener más de un producto final con demanda independiente, lo que posibilita que, en determinados momentos, puedan subir los pedidos de algunos de ellos y bajar los de otros. Ante una circunstancia de este tipo, la nivelación en las cargas de trabajo y la productividad pueden verse afectadas. Ello podría provocar despilfarros si se sigue manteniendo la misma capacidad de producción en aquellas líneas que ahora tienen menores requerimientos. El JIT intenta evitar estas situaciones implantando el concepto de Shojinka, definido como la flexibilidad en el número de trabajadores en una determinada línea para adaptarse a los cambios de demanda, manteniendo o aumentando así su productividad. En la práctica, Shojinka significa que si la demanda de un determinado producto desciende un cierto tanto por ciento, el número de trabajadores asignados a su elaboración debe disminuir en la misma proporción. Es evidente que para conseguir dicha flexibilidad, es necesario contar con una serie de requisitos en el diseño del Subsistema Productivo. Concretamente: una distribución en planta adecuada, un personal altamente formado y polivalente y una mejora continua de la ruta estándar de operaciones.

Los medios de producción se organizan en función del flujo productivo. Cada trabajador es polivalente: maneja los diferentes tipos de máquinas existentes. La rotación de tareas, permite a los trabajadores obtener habilidad de realización de los procesos. Con este programa de rotación, decrecen los accidentes laborales por el aumento de atención en el trabajador. A

través del espíritu de cuerpo se tiende a que el trabajador sienta que la empresa le pertenece y no viva al propietario de la misma como su antagonista, con lo cual se apunta a la disminución de los conflictos.

En la aplicación práctica, resulta que la entrada de una unidad en el proceso es sincronizada con la salida de la otra unidad terminada, esta forma de producción se llama pieza a pieza. Ella evita los inventarios innecesarios y, combinada con el trabajo polivalente y en equipo, incrementa la productividad.

Shojinka significa flexibilización en función de la demanda real. Por ello equivale a incrementar la productividad, mediante el ajuste y reprogramación de los recursos humanos en función de la demanda. La distribución de la maquinaria, toma la forma de U, con ello la entrada salida de un ciclo puede ser controlada por un solo trabajador (la idea es que al entrar una unidad, salga otra del ciclo).

#### **1.4.6. Reducción de las preparaciones (SMED)**

El sistema SMED nace como un conjunto de conceptos y técnicas que pretenden reducir los tiempos de preparación hasta poderlos expresar en minutos utilizando sólo un dígito, es decir, realizar cualquier preparación de máquinas en un tiempo inferior a los 10 minutos.

En gestión de la producción, SMED es el acrónimo de *Single Minute Exchange of Die*: cambio de herramienta en (pocos) minutos. Este concepto introduce la idea de que en general cualquier cambio de máquina o inicialización de proceso debería durar no más de 10 minutos, de ahí la frase *single minute* (expresar los minutos en un solo dígito). Se entiende por cambio de utillaje el tiempo transcurrido desde la fabricación de la última pieza válida de una serie hasta la obtención de la primera pieza correcta de la serie siguiente; no únicamente el tiempo del cambio y ajustes físicos de la maquinaria.

El método SMED se utiliza en el marco de cambios de utillaje en las máquinas usadas en la fabricación. Su objetivo es reducir los tiempos de cambio, y permitir así reducir el tamaño del lote mínimo. En efecto, si los tiempos de cambio de serie se vuelven nulos, se puede entonces empezar una serie en un tiempo importante del proceso de fabricación. Y este

tiempo no es productivo. El objetivo es disminuir el tiempo dedicado al ajuste, con el fin de conseguir cambios de útiles rápidos o incluso ajustes instantáneos.

Se distinguen dos tipos de ajustes:

- Ajustes / tiempos internos: Corresponde a operaciones que se realizan a máquina parada, fuera de las horas de producción (conocidos por las siglas en inglés IED).
- Ajustes / tiempos externos: Corresponde a operaciones que se realizan (o pueden realizarse) con la máquina en marcha, o sea durante el periodo de producción (conocidos por las siglas en inglés OED).

El método se desarrolla en cuatro etapas.

#### *1.4.6.1. Ajustes internos y externos*

Es una fase preliminar. En los ajustes tradicionales, los internos y externos están mezclados: lo que podría hacerse en externo se hace en ajustes internos. Es necesario estudiar en detalle las condiciones reales del taller. Una buena aproximación es un análisis continuo de producción con un cronómetro. Un sistema más eficaz es utilizar una o más cámaras de vídeo, cuyas filmaciones podrán ser analizadas en presencia de los mismos operarios.

En un cambio de producción, deben definirse las operaciones a realizar:

- la preparación de la máquina, del puesto de trabajo, de los útiles;
- la verificación de la materia prima y de los instrumentos de medida;
- el desmontaje/montaje de la herramienta;
- los ajustes de las cotas de fabricación;
- la realización y la prueba;
- la limpieza;
- el orden del puesto de trabajo...

#### *1.4.6.2. Separación de los ajustes internos y externos*

Es la primera etapa del método SMED, y es la más importante: distinguir entre ajustes internos y externos. Las actividades internas tienen que ejecutarse cuando la máquina está parada, mientras que las actividades externas pueden ejecutarse mientras la máquina está operando.

#### *1.4.6.3. Transformación de ajustes internos en externos*

Es la segunda etapa del método. El objetivo es transformar los ajustes internos en externos, por ejemplo: precalentamiento, premontaje, utilización de un banco de reglaje previo, etc.

Dentro del banco de reglaje previo podemos organizar también las herramientas específicas a utilizar al momento del cambio, así como las refacciones que requieran ser cambiadas antes de que provoquen un fallo, si no al momento de dar una pequeña señal de variación en su funcionamiento. Con esto podemos aplicar a la pieza eliminada una reparación o mantenimiento preventivo mientras es sustituida por otra pieza, y tendremos una pieza más en inventario lista para ser utilizada cuando la que está trabajando de una señal de alarma.

Dentro de los cambios tenemos también las tareas repetitivas o que no agregan valor en sí, como es el apretar uno o varios tornillos, para esto podemos acondicionar los equipos siempre y cuando sea necesario, para el uso de manijas, o el uso de destornilladores eléctricos.

#### *1.4.6.4. Racionalización de todos los aspectos de la operación de ajuste*

Es la tercera etapa del método. Su objetivo es reducir al mínimo el tiempo de ajustes. La conversión en ajustes externos permite ganar tiempo, pero racionalizando los ajustes se puede disminuir aún más el tiempo de cambio. Por ejemplo, el de arandelas partidas (tener en cuenta que el agujero debe ser mayor que la tuerca).

### 1.4.7. Cinco eses

El concepto *Cinco Eses* se refiere a la creación y mantenimiento de áreas de trabajo más limpias, más organizadas y más seguras, es decir, se trata de imprimirle mayor “calidad de vida” al trabajo. Las cinco eses provienen de términos japoneses que diariamente ponemos en práctica en nuestra vida cotidiana y no son parte exclusiva de una “cultura japonesa” ajena a nosotros, es más, todos los seres humanos, o casi todos, tenemos tendencia a practicar o hemos practicado las cinco eses aunque no nos demos cuenta. Las cinco eses son:

- Seiri: Clasificar, organizar o arreglar apropiadamente.
- Seiton: Ordenar.
- Seiso: Limpiar.
- Seiketsu: Estandarizar.
- Shitsuke: Disciplinar.

Cuando el entorno de trabajo está desorganizado y sin limpieza se pierde la eficiencia y la moral en el trabajo se reduce. El objetivo central de las cinco eses es lograr el funcionamiento más eficiente y uniforme de las personas en los centros de trabajo.

La implantación de una estrategia de cinco eses importante en diferentes áreas, por ejemplo, permite eliminar despilfarros y por otro lado permite mejorar las condiciones de seguridad industrial, beneficiando así a la empresa y a sus empleados.

Algunos de los beneficios que genera la estrategia de las cinco eses son:

- Mayores niveles de seguridad que redundan en una mayor motivación de los empleados.
- Mayor calidad.
- Tiempos de respuesta más cortos.
- Aumenta la vida útil de los equipos.
- Genera cultura organizacional.
- Reducción en las pérdidas y mermas por producciones con defectos.

#### 1.4.7.1. Clasificar (Seiri)

Clasificar consiste en retirar del área o estación de trabajo todos aquellos elementos que no son necesarios para realizar la labor, ya sea en áreas de producción o en áreas administrativas. Una forma efectiva de identificar estos elementos que habrán de ser eliminados es llamada “etiquetado en rojo”. En efecto una tarjeta roja (de expulsión) es colocada a cada artículo que se considera no necesario para la operación. Enseguida, estos artículos son llevados a un área de almacenamiento transitorio. Más tarde, si se confirmó que eran innecesarios, estos se dividirán en dos clases, los que son utilizables para otra operación y los inútiles que serán descartados. Este paso de ordenamiento es una manera excelente de liberar espacios de piso desechando cosas tales como: herramientas rotas, aditamentos y excesos de materia prima. Este paso también ayuda a eliminar la mentalidad de “por si acaso”.

Al clasificar se preparan los lugares de trabajo para que estos sean más seguros y productivos. El primer y más directo impacto está relacionado con la seguridad. Ante la presencia de elementos innecesarios, el ambiente de trabajo es tenso, impide la visión completa de las áreas de trabajo, dificulta observar el funcionamiento de los equipos y máquinas, las salidas de emergencia quedan obstaculizadas haciendo todo esto que el área de trabajo sea más insegura.

Algunas normas ayudan a tomar buenas decisiones como son:

- Se deshecha (ya sea que se venda, regale o se tire) *todo* lo que se usa menos de una vez al año.
- De lo que queda, *todo* aquello que se usa menos de una vez al mes se aparta (por ejemplo, en la sección de archivos, o en el almacén en la fábrica)
- De lo que queda, *todo* aquello que se usa menos de una vez por semana se aparta no muy lejos (típicamente en un armario en la oficina, o en una zona de almacenamiento en la fábrica)
- De lo que queda, *todo* lo que se usa menos de una vez por día se deja en el puesto de trabajo

- De lo que queda, *todo* lo que se usa menos de una vez por hora está en el puesto de trabajo, al alcance de la mano.
- Y lo que se usa al menos una vez por hora se coloca directamente sobre el operario.

Esta jerarquización del material de trabajo conduce lógicamente a *Seiton*

#### 1.4.7.2. Ordenar (*Seiton*)

Consiste en organizar los elementos que hemos clasificado como necesarios de modo que se puedan encontrar con facilidad. Se pueden usar métodos de gestión visual para facilitar el orden, pero a menudo, el más simple leitmotiv de *Seiton* es: *Un lugar para cada cosa, y cada cosa en su lugar*. Algunas estrategias para este proceso de “todo en su lugar” son: pintura de pisos delimitando claramente áreas de trabajo y ubicaciones, tablas con siluetas, así como estantería modular y/o gabinetes para tener en su lugar cosas como un bote de basura, una escoba, trapeador, cubeta, etc. En esta etapa se pretende organizar el espacio de trabajo con objeto de evitar tanto las pérdidas de tiempo como de energía.

Las normas de *seiton* son:

- Organizar racionalmente el puesto de trabajo (proximidad, objetos pesados fáciles de portar o sobre un soporte, ...)
- Definir las reglas de ordenamiento
- Hacer obvia la colocación de los objetos
- Los objetos de uso frecuente deben estar cerca del operario
- Clasificar los objetos por orden de utilización
- Estandarizar los puestos de trabajo
- Favorecer el FIFO

#### 1.4.7.3. Limpieza (*Seiso*)

Una vez el espacio de trabajo está despejado (*seiri*) y ordenado (*seiton*), es mucho más fácil limpiarlo (*seiso*). Consiste en identificar y eliminar las fuentes de suciedad, asegurando que todos los medios se encuentran siempre en perfecto estado operativo. Limpieza significa

eliminar el polvo y suciedad de todos los elementos de una fábrica. Desde el punto de vista del TPM implica inspeccionar el equipo durante el proceso de limpieza. Se identifican problemas de escapes, averías, fallos o cualquier tipo de *fuguai* (defecto). Limpieza incluye, además de las actividades de limpiar las áreas de trabajo y los equipos, el diseño de aplicaciones que permitan evitar o al menos disminuir la suciedad y hacer más seguros los ambientes de trabajo.

El incumplimiento de la limpieza puede tener muchas consecuencias, provocando incluso anomalías o el mal funcionamiento de la maquinaria. Normas para Seiso:

- Limpiar, inspeccionar, detectar las anomalías
- Volver a dejar sistemáticamente en condiciones
- Facilitar la limpieza y la inspección
- Eliminar la anomalía en origen

#### 1.4.7.4. Estandarizar (*Seiketsu*)

El estandarizar pretende mantener el estado de limpieza y organización alcanzado con la aplicación de las primeras tres eses. El estandarizar sólo se obtiene cuando se trabajan continuamente los tres principios anteriores. En esta etapa o fase de aplicación (que debe ser permanente), son los trabajadores quienes adelantan programas y diseñan mecanismos que les permiten beneficiarse así mismos. Para generar esta cultura se pueden utilizar diferentes herramientas, una de ellas es la localización de fotografías del sitio de trabajo en condiciones óptimas para que pueda ser visto por todos los empleados y así recordarles que es el estado en el que debería permanecer, otra es el desarrollo de unas normas en las cuales se especifique lo que debe hacer cada empleado con respecto a su área de trabajo. La estandarización pretende:

- Mantener el estado de limpieza alcanzado en las tres primeras eses.
- Enseñar al operario a realizar normas con el apoyo de la dirección y un adecuado entrenamiento.
- Las normas deben contener los elementos necesarios para realizar el trabajo de limpieza, tiempo empleado, medidas de seguridad a tener en cuenta y procedimiento a seguir en caso de identificar algo anormal.

A menudo el sistema de las cinco eses se aplica sólo puntualmente. *Seiketsu* recuerda que el orden y la limpieza deben mantenerse cada día. Para lograrlo es importante crear estándares. Para conseguir esto, las normas siguientes son de ayuda:

- Hacer evidentes las consignas: cantidades mínimas, identificación de las zonas
- Favorecer una gestión visual ortodoxa
- Estandarizar los métodos operatorios
- Formar al personal en los estándares

#### 1.4.7.5. *Disciplina (Shitsuke)*

Significa evitar que se rompan los procedimientos ya establecidos. Sólo si se implanta la disciplina y el cumplimiento de las normas y procedimientos ya adoptados se podrá disfrutar de los beneficios que ellos brindan. La disciplina es el canal entre las cinco eses y el mejoramiento continuo. Implica control periódico, visitas sorpresa, autocontrol de los empleados, respeto por sí mismo y por los demás así como mejor calidad de vida laboral, además:

- El respeto de las normas y estándares establecidos para conservar el sitio de trabajo impecable.
- Realizar un control personal y el respeto por las normas que regulan el funcionamiento de una organización.
- Promover el hábito de autocontrolar o reflexionar sobre el nivel de cumplimiento de las normas establecidas.
- Comprender la importancia del respeto por los demás y por las normas en las que el trabajador seguramente ha participado directa o indirectamente en su elaboración.
- Mejorar el respeto de su propio ser y de los demás.

Es también una etapa de control riguroso de la aplicación del sistema: los motores de esta etapa son una comprobación continua y fiable de la aplicación del sistema cinco eses (las 4 primeras eses en este caso) y el apoyo del personal implicado.

El resultado se mide tanto en productividad como en satisfacciones del personal respecto a los esfuerzos que han realizado para mejorar las condiciones de trabajo. La aplicación de esta técnica tiene un impacto a largo plazo. Para avanzar en la implementación de cualquiera de las otras herramientas de la Manufactura Esbelta, es necesario que en la organización exista un alto grado de disciplina. La implantación de las cinco eses puede ser uno de los primeros pasos del cambio hacia la mejora continua.

#### **1.4.8. Producción nivelada (Heijunka)**

Heijunka es una técnica que adapta la producción a la demanda variable del cliente. La palabra japonesa Heijunka significa literalmente “hacer llano y nivelado”. La demanda del cliente debe cumplirse con las entregas que éste requiere, pero mientras que esta demanda es fluctuante, la fábrica prefiere que la producción esté nivelada o estable.

La herramienta principal para la producción suavizada es el cambio frecuente de la mezcla de productos programada en cada línea. En lugar de ejecutar lotes grandes de un modelo después de otro, se deben producir lotes pequeños de muchos modelos en periodos cortos. Esto requiere tiempos de cambio más rápidos, con pequeños lotes de piezas buenas entregadas con mayor frecuencia.

##### *1.4.8.1. Nivelación por volumen*

Si para una familia de productos que utilizan el mismo proceso de producción existe una demanda que varía, podría parecer una buena idea la de producir la cantidad ordenada. La visión de Toyota considera que los sistemas de producción que varían para entregar la producción demandada, generan desperdicios y deben forzar su capacidad en los periodos de alta producción.

Por lo tanto, su enfoque es fabricar de acuerdo con la demanda promedio en el largo plazo y acarrear un inventario proporcional a la variabilidad de la demanda, a la estabilidad del proceso de producción y a la frecuencia de las entregas. La ventaja de llevar este inventario es

que puede estabilizar la producción a través de la planta y así reducir el inventario en proceso y simplificar las operaciones para reducir los costos.

#### 1.4.8.2. Nivelación por producto

La mayoría de los flujos de valor origina una mezcla de productos para, de este modo, enfrentar la selección de la mezcla y la secuencia de producción. El enfoque de Toyota da lugar a un punto de vista diferente, en el que al reducir los tiempos y los costos de las preparaciones, dejan de ser prohibitivos los tamaños de lote cada vez menores y se vuelven poco significativos los tiempos de producción detenida y los costos de calidad.

Esto significa que la demanda puede nivelarse para los subprocesos precedentes y, por tanto, se reduce el tiempo de proceso y los inventarios globales a lo largo de todo el flujo de valor. Con el fin de simplificar la nivelación de productos con diferentes niveles de demanda, se emplea usualmente un tablero visual de programación, conocido como la “caja heijunka”, para conseguir la eficiencia que propone esta técnica. También se han desarrollado otras técnicas de nivelación de la producción basadas en estos conceptos. Una vez que la nivelación por tipo de producto se logra, entonces aparece otra fase, la de “justo en secuencia”, en donde la nivelación se lleva a cabo al nivel de los productos individuales.

Entre otras técnicas de la producción esbelta, el uso de heijunka ayudó a Toyota reducir grandemente los tiempos de proceso de vehículos, así como los niveles de inventario en los años 80.

#### 1.4.9. Mejora continua (Kaizen)

*Kaizen* proviene de dos palabras japonesas que significan *cambio para mejorar*. El Kaizen es un sistema de mejora continua e integral que comprende todos los elementos, componentes, procesos, actividades, productos e individuos de una organización. No importa la actividad de la organización, siempre debe mejorar los efectos de hacer un mejor y más eficiente uso de los escasos recursos, logrando de tal forma satisfacer la mayor cantidad de

objetivos posibles. Es mucho más necesaria la mejora continua cuando se trata de actividades plenamente competitivas, sea en lo económico o en otro orden (Alukal y Manos, 2008).

“¡Hoy mejor que ayer y mañana mejor que hoy!” es la base de la milenaria filosofía Kaizen y su significado es que siempre es posible hacer mejor las cosas. En la cultura japonesa está inmerso el concepto de que ningún día debe pasar sin una cierta mejora.

El despliegue de la política se refiere al proceso de introducir las políticas para kaizen en toda la compañía, desde el nivel más alto hasta el más bajo. La dirección debe establecer objetivos claros y precisos que sirvan de guía a cada persona y asegurar de tal forma el liderazgo para todas las actividades kaizen dirigidas hacia el logro de los objetivos.

La alta gerencia debe idear una estrategia a largo plazo, detallada en estrategias de mediano plazo y estrategias anuales. La alta gerencia debe contar con un plan para desplegar la estrategia, pasarla hacia abajo por los niveles subsecuentes de gerencia hasta llegar a la zona de producción. Como la estrategia cae en cascada hacia las categorías inferiores, el plan debe incluir planes de acción y actividades cada vez más específicas.

El sistema de sugerencias funciona como una parte integral del kaizen orientado a individuos, y hace énfasis en los beneficios de elevar el estado de ánimo mediante la participación positiva de los empleados. Los gerentes y supervisores deben inspirar y motivar a su personal a suministrar sugerencias, sin importar lo pequeña que sean. La meta primaria de este sistema es desarrollar empleados con mentalidad kaizen y autodisciplinados.

Además de hacer a los empleados conscientes del kaizen, los sistemas de sugerencias proporcionan a los trabajadores la oportunidad de hablar con sus supervisores y entre ellos mismos. Al mismo tiempo, proporcionan la oportunidad de que la administración ayude a los trabajadores a tratar con los problemas. De este modo, las sugerencias son una oportunidad valiosa para la comunicación bidireccional tanto en el taller como para el autodesarrollo del trabajador.

Entre las estrategias del Kaizen se encuentran las actividades de grupos pequeños, siendo el más común el Círculo de Calidad. No sólo persiguen temas relativos a la calidad, sino también a los costos, la seguridad y la productividad.

Dentro de los objetivos de Kaizen se pueden citar:

- Reducción en los niveles de fallas y errores, o sea aumentando los niveles de calidad a un nivel de “fallas por millón”;
- Reducción en los niveles de inventarios, aumentando los niveles de rotación;
- Incremento sistemático y continuo en los niveles de productividad, y consecuentemente, reducción constante en los costos;
- Reducción de los tiempos del ciclo y en los plazos de respuesta, de forma que se logren menores tiempos para el desarrollo de productos y su puesta en el mercado. De igual forma son más rápidas las respuestas a los requerimientos de los clientes, disponiendo de mayores niveles de flexibilidad.

Al mejorar de manera constante los procesos, Kaizen permite ofrecer al mercado productos y servicios más económicos. Por otro lado, al mejorar continuamente productos y servicios, se amplía el ciclo de vida de los mismos, manteniéndose siempre por delante de sus competidores. Al reducir los tiempos de diseño y desarrollo de productos y procesos, permite continuamente llegar con nuevos y mejores productos al mercado.

## **CAPÍTULO 2.**

# **DIAGNÓSTICO DE UN PROCESO DE PRODUCCIÓN DE VAGONES**

Para pretender resolver la problemática del sistema de manufactura, se requiere la correcta identificación de las causas que la producen. Para ello se lleva a cabo el diagnóstico en un sistema representativo. De ahí se detectan los orígenes, que a su vez se relacionan con los desperdicios, para mostrar las oportunidades de solución mediante herramientas de la Manufactura Esbelta. Por último, se entresacan las herramientas cuya aplicación se observa de más factibilidad.

### ***2.1. DESCRIPCIÓN DE UN PROCESO INDUSTRIAL REPRESENTATIVO***

Las empresas locales de México presentan una problemática en los procesos de producción y se reflejan a través de los altos costos generados en diferentes formas. Por tal motivo para determinar los efectos con sus posibles causas que ocasionan la falta de fluidez en los procesos, se realizó un diagnóstico a través de encuestas, tiempos y movimientos.

#### **2.1.1. Procesos de producción de vagones**

En la empresa constructora de carros de ferrocarril analizada se fabrican diversos tipos de unidades ferroviarias para el transporte de carga como son: cabuses, tolvas para transportar

materias a granel, plataformas para movilizar equipo y maquinaria, carros de pasajeros y carros tanque para líquidos.

El siguiente estudio está realizado a los procesos de producción de vagones. Su propósito es detectar las principales causas de los defectos originadas en los procesos de transformación.

Se parte de un almacén de materia prima, la cual pasa al taller de fabricación metálica pesada y ligera, para su transformación a piezas metálicas y posteriormente al almacén de partes acabadas. Después, éstas son llevadas a la línea de subensamble donde se le colocan los frentes, costados y techos. El producto semiacabado es llevado a la nave de montaje metálico metro, donde se le efectuarán una serie de operaciones como son: soldadura, enderezado, colocación de soportes, lámina, enlistonado, pruebas de hermeticidad y hojalateado.

A continuación se pasa a la nave de carpintería y se efectúan las siguientes operaciones: decapado, aplicación de *praimer*, aplicación de material antirruido, colocación de pisos, colocación de ventanas y puertas.

Una vez realizado lo anterior, pasa a la nave de pintura en donde se le practican también una serie de operaciones como son: aplicación del plaste, aplicación de tinta, lijado en húmedo, pulido en seco, aplicación de pintura y ajuste de puertas.

Posteriormente pasa a la nave de vestiduras para la instalación del equipo eléctrico, neumático, grupo motocompresor, cofres en bastidor, cableado de cabina y general revestimiento en paneles.

El producto en proceso vuelve a la nave de pintura para su respectivo lijado y capa de pintura, aplicación del esmalte final, retoques, colocación de calcomanías, colocación de pasamanos, colocación de asientos. Fuera de la nave de pintura se procede al montaje de *bogies* (o *bojes*) para realizar a las unidades pruebas estáticas y dinámicas definidas, una vez realizadas dichas pruebas, sin ningún problema es llevado el convoy al almacén de producto terminado.

### 2.1.2. Proceso previo o de montaje metálico

Se realiza la unión de cada uno de los subensambles, hasta obtener completamente la estructura metálica de la caja. La unión de los subensambles se hace a través de soldadura.

La estructura es llevada al área de espera para ser inspeccionada por control de calidad de acuerdo a diseño y especificaciones. Si es aprobada pasa al siguiente proceso de limpieza. Si es rechazada se queda en espera. La estructura de la caja metálica está constituida por: bastidor, frentes, costados y techo.

### 2.1.3. Proceso de pintura y sus etapas

Es el proceso de pintura el que ofrece mayor interés para la aplicación de la Manufactura Esbelta, por el indicio de que una gran proporción de los productos pasa a retrabajo o es rechazado. A este proceso lo conforman diversas etapas: de granalla, aplicación de *praimer*, aplicación de plaste, aplicación de pintura intermedia y aplicación de pintura final, que a continuación se detallan. Esquemáticamente se muestra este proceso en la Figura 2.1.

- Etapa 0. Preparación de la caja metálica: antes de ser presentada a etapa de granalla se protegen las partes delicadas como: tornillería, tierras y cableado del bastidor. Esta protección se realiza con tramos de cuero, trapo y hule, para evitar que sean dañadas en la etapa de limpieza por granalla.
- Etapa 1.1. Granalla: se utiliza para limpiar grandes superficies de metal. Se aplica a presión sobre las piezas eliminando el óxido y otras imperfecciones del laminado y dejando el material listo para proceder a su pintado. La caja metálica es presentada a inspección por control de calidad. La proyección se realiza en cabinas cerradas que permiten su reutilización. Cuando ya no es eficaz debido a su pequeño diámetro causado por el desgaste se procede a su renovación. Para su aplicación se utilizan trajes adecuados para evitar accidentes.
- Etapa 1.2. Aplicación de *praimer*: una vez presentada la unidad para esta etapa, se vuelve a proteger la tornillería, tierras y cableado para evitar que sean pintadas. El objetivo de esta etapa es proteger al metal del óxido y evitar la corrosión futura y

debe ser aplicada correctamente, sobre todo en las partes ocultas. La aplicación del *praimer* en la estructura se realiza dentro de una cabina cerrada y, una vez concluida, se le da un tiempo de secado de 8 horas.

- Etapa 1.3. Aplicación y lijado de plaste: es un componente de dos partes que tiene como finalidad cubrir todas las deformaciones presentadas en la estructura metálica, con aplicación dentro de una cabina cerrada. Una vez concluida la etapa, se queda en espera de secado durante 8 horas. La finalidad del lijado es quitar los bordos de plaste, brillo y otras imperfecciones del mismo y también para verificar la presencia de poros. Si existe algún poro se aplica un plaste de secado rápido para taparlo.
- Etapa 1.4. Aplicación de pintura intermedia: tiene como finalidad cubrir las correcciones manifestadas en la etapa anterior y también sirve como fondo para la aplicación de la pintura final. Esta etapa se realiza dentro de una cabina de pintura cerrada. Una vez concluida la etapa de aplicación se queda en espera de secado durante 8 horas.
- Etapa 2. Aplicación de pintura final: esta última parte del proceso de pintura se realiza dentro de una cabina especial diferente a las anteriores, ya que el paso es muy delicado y requiere cuidados extremos. Entre los recursos especializados están: limpieza de cabina, equipo especial para la aplicación, mano de obra especializada, aire limpio, equipo de aplicación limpio, temperatura controlada. Una vez presentada la unidad dentro de la cabina se realiza una limpieza con solvente especial. Se inicia la aplicación de la etapa de pintura final. Una vez concluida la etapa, se queda en espera de secado a temperatura durante 8 horas. La unidad es presentada a control de calidad para su inspección. Si es aprobada pasa al siguiente proceso. Si es rechazada se queda en espera de dos casos posibles: para situaciones de inconformidad leve, con factibilidad de recuperación por retrabajo, es devuelta a la etapa de pintura final, en tanto que para inconformidad grave, la unidad es regresada a la etapa de granalla y vuelve a ser tratada de la misma manera a la de recepción de la caja metálica de nuevo ingreso al proceso de pintura.

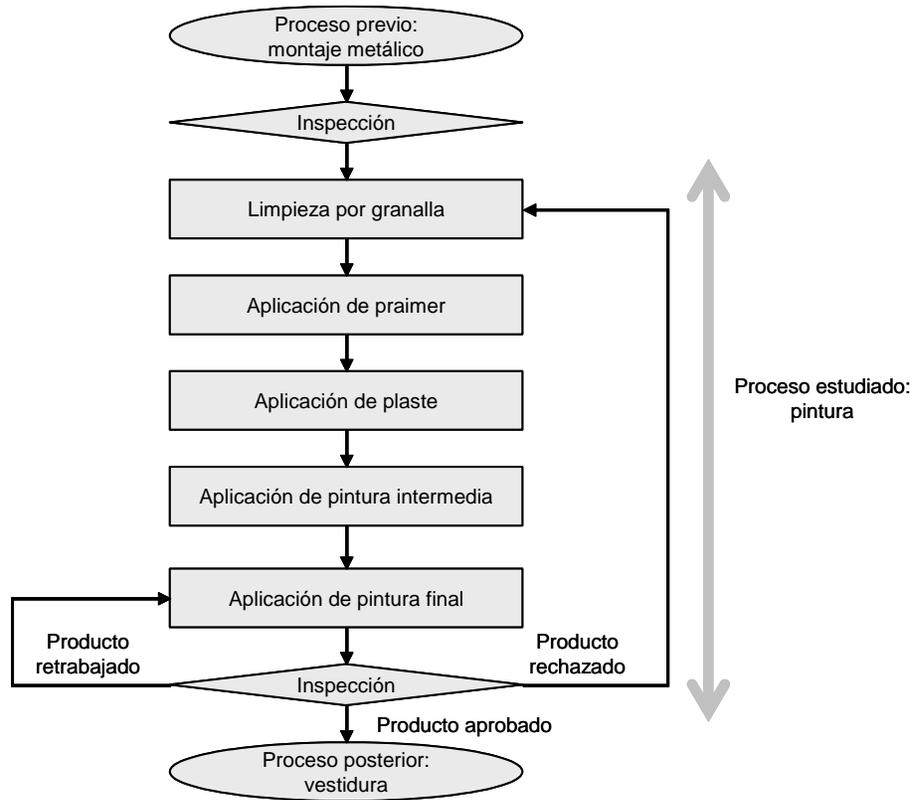


Figura 2.1. Proceso de pintura estudiado y sus etapas.  
Fuente: Elaboración propia.

#### 2.1.4. Proceso posterior o de vestidura

El producto que aprueba la inspección de pintura es conducido al proceso de vestidura. Aquí las principales operaciones son:

- Colocación de equipo eléctrico
- Instalación de parabrisas
- Montaje de equipo neumático
- Instalación de grupo motor
- Cableado de ventilación.
- Revestimiento de paneles
- Colocación de paneles en plafón.

El producto liberado para su embarque, se protege con lonas y material plástico para evitar cualquier daño como: rayones, suciedades de grasas, lluvias y polvo.

Una vez el producto empacado, se realiza el montaje en plataformas para su distribución y traslado al lugar de destino, mientras permanece en los almacenes de producto terminado.

## **2.2. DETECCIÓN DE LAS ÁREAS DE OPORTUNIDAD ESBELTAS**

Dentro del análisis de este proceso se observa la problemática que se presenta cuando la unidad es rechazada a la salida de la etapa de pintura final, dada la alta frecuencia de estos casos. Se reporta que los porcentajes resultantes de la inspección corresponden a 60% de producto aprobado, 28% de producto recuperable y 12% de producto rechazado. Por otra parte, se confirma en las referencias (Ulgen y Gunal, 1998) que esta proporción es típica en procesos de pintura de vehículos.

Otros resultados obtenidos del diagnóstico reflejan desempeños no deseables en varios aspectos, de los cuales los principales son: mala calidad que da lugar a rechazos y retrabajos, sobreproducción e inventarios, tiempo extra, y esfuerzos perdidos. Todo lo anterior se puede referir a desperdicios, es decir, actividades que no aportan valor agregado al producto, pero que consumen recursos, aspecto que coincide con las causas que se dedica a combatir el pensamiento esbelto.

Después de identificados los efectos indeseables, la orientación de las herramientas de la Manufactura Esbelta al desarrollo de soluciones es útil para atacar las causas primarias de los problemas.

En el proceso estudiado se han observado problemas en los siguientes aspectos: la baja tasa de productos aprobados en la inspección a la primera; los tiempos de paro de equipo y maquinaria por un mantenimiento incorrecto; la generación de inventarios intermedios excesivos entre etapas por la variabilidad de los tiempos de proceso y la carencia de un balance adecuado; los movimientos innecesarios de material y personal en una deficiente distribución en planta; las esperas por tiempos de preparación al iniciar cada unidad de producto.

### **2.3. SELECCIÓN DE HERRAMIENTAS ESBELTAS APLICABLES AL CASO**

Con la finalidad de asociar a cada uno de los problemas anteriores la herramienta esbelta que tiene mayor relación con el fenómeno particular que lo produce, es conveniente seleccionar las de mayor factibilidad de aplicación, como se indica a continuación.

- Jidoka y Poka-Yoke: la utilización de mecanismos de detección y prevención de operaciones erróneas corresponden a la solución del alto número de productos no conformes;
- Mantenimiento Productivo Total (TPM): con su aplicación se busca mejorar lo preventivo y lo correctivo, al agrandar el tiempo entre apariciones de falla y reducir el tiempo de las intervenciones;
- Soikufu: la aportación de ideas por los trabajadores para mejorar la eficiencia de las operaciones se observa como la posibilidad de uniformizar los tiempos de proceso;
- Shojinka: su aplicación serviría para agilizar los movimientos de material en la planta al reducir las distancias entre estaciones, generar trayectorias más directas y lograr una mejor visualización de las estaciones anterior y posterior;
- Reducción de tiempos de preparación (SMED): las esperas por tiempos de preparación son abordadas por esta técnica al promover su reducción a menos de 10 minutos;
- Otras complementarias: para aprovechar el pensamiento esbelto de manera integral es conveniente iniciar la solución con las Cinco Eses para establecer el clima de cambio y las técnicas de mapeo del flujo de valor (VSM) para ubicar los procesos de mayor desperdicio, así como culminar con la visión de la mejora continua que enseña Kaizen, para que los cambios sean efectivos y permanentes.

## **CAPÍTULO 3.**

# **ELABORACIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN PARA EVALUAR LA ESBELTEZ**

Como método de comprobación del incremento en el desempeño en los sistemas de manufactura que adoptan los conceptos esbeltos, en este capítulo se desarrolla una propuesta de modelo en computadora, con la habilidad de simular herramientas de reducción de desperdicios, para facilitar la medición de resultados al evaluar el desempeño de una serie de mejoras en los parámetros del proceso productivo.

### ***3.1. FUNDAMENTOS DE LA SIMULACIÓN DISCRETA***

La disponibilidad de lenguajes informáticos de simulación de propósito especial, la capacidad y la velocidad crecientes de las computadoras, con costo unitario cada vez menor, y las metodologías de simulación desarrolladas, han hecho de la simulación una de las herramientas más utilizadas y aceptadas en investigación de operaciones y en análisis de sistemas.

La simulación puede utilizarse para el estudio y la experimentación sobre las interacciones entre elementos de un sistema; la mejora de un sistema bajo estudio, por la detección de variables relevantes y de sus interacciones; la prueba de métodos de solución por ecuaciones; o la experimentación con nuevos diseños.

### 3.1.1. Conceptos de base

Una simulación es la imitación de la operación de un sistema o proceso real a través del tiempo. Ya sea manual o por computadora, la simulación se refiere a la generación de una historia artificial del sistema y la observación de esta historia para proyectar inferencias sobre las características del sistema real (Banks, 2001).

El comportamiento del sistema, conforme evoluciona en el tiempo, se estudia mediante un modelo de simulación (que se debe desarrollar). El modelo adquiere normalmente la forma de un conjunto de representaciones de la operación del sistema, expresadas como relaciones matemáticas, lógicas o simbólicas, entre las entidades. Los sistemas que conviene simular son los de alta complejidad (gran dificultad de resolver matemáticamente).

Las ventajas de la simulación pueden centrarse en:

1. Construido un modelo, puede utilizarse repetidamente para comparar propuestas, alternativas o políticas
2. Los métodos de simulación permiten analizar un sistema, aun cuando no se cuente con datos exactos
3. Los datos de una simulación son más fáciles de obtener que los datos correspondientes del sistema real (normalmente)
4. Los modelos de simulación no requieren de tantas hipótesis de simplificación como los modelos analíticos
5. En ciertos casos, la simulación es el único procedimiento de solución

Desventajas de la simulación:

1. El desarrollo de un modelo de simulación puede llegar a ser costoso en tiempos de desarrollo y de validación
2. Una simulación requiere normalmente de un alto número de corridas (con el correspondiente alto costo)

3. En ocasiones se utiliza la simulación innecesariamente, al existir modelos analíticos cuyo uso basta (se obstaculiza la búsqueda de métodos más simples)

### 3.1.2. Elementos de la simulación

Para comprender y analizar un sistema, se definen los términos siguientes (Price y Harrell, 1999):

- Una *localidad* es un objeto bajo estudio, fijo y capaz de procesar;
- Una *entidad* es un objeto bajo estudio, móvil en el sistema y que es procesado;
- Un *atributo* es una propiedad de una localidad o de una entidad;
- Una *actividad* representa una ocupación durante un periodo especificado;
- Un *estado* del sistema es el conjunto de las variables necesarias para describir a sus elementos en un cierto momento, con respecto a los objetivos del estudio;
- Un *suceso* es la ocurrencia instantánea de un acontecimiento que puede modificar el estado del sistema.

En un banco, un ejemplo de cada término sería: una *ventanilla*; un *cliente*; el *estado de cuenta* de éste; un *depósito*; el *número de clientes en la línea de espera*; y *llegada* de un nuevo cliente, respectivamente.

En un sistema de manufactura, un ejemplo de cada término sería: una *máquina-herramienta*; un bloque de *materia prima*; la *velocidad de procesamiento* de la máquina-herramienta; un *proceso de taladrado*; el conjunto de *sistema operando o desocupado o en reparación*; y *aparición de una falla* en la máquina-herramienta, respectivamente.

La *simulación de sucesos discretos* se refiere a la modelación de sistemas en los que las variables de estado cambian únicamente en determinados instantes de la escala de tiempo. Se diferencian de los simuladores continuos, más dedicados a resolver ecuaciones. Los modelos se analizan a través de métodos numéricos, en lugar de analíticos. Se emplean procedimientos

computacionales para *resolver* modelos matemáticos. Más apropiadamente, los modelos pasan por *corridas*, en vez de procesos de solución.

### 3.1.3. Ejemplo de software de simulación

En el paquete de software ProModel se establece la compenetración que debe existir entre la herramienta de simulación y las características por observar en el sistema de producción. ProModel construye los modelos a través de definir una trayectoria de los productos a lo largo de los puntos de transformación, definir recursos adicionales como operarios y herramientas, definir el sistema de manejo de materiales, programar la llegada de partes al sistema y especificar los parámetros de la simulación. El paquete solicita al usuario definir la distribución de planta y los elementos dinámicos de la simulación (Bateman, *et al.*, 1997).

Algunas características de ProModel son:

1. Los modelos son creados de manera gráfica. Proporciona interfaces intuitivas, diálogo interactivo y ayuda en línea. Un apoyo de programación automática guía al usuario a lo largo del proceso de construcción del modelo.
2. El software opera en ambiente Windows, beneficiándose de la sincronía entre ventanas y del intercambio de datos. Se aprovechan los recursos como los tipos de letra, la impresión y la graficación y la importación de datos desde hojas de cálculo.
3. Se ofrece un tamaño del modelo virtualmente ilimitado.
4. Ofrece un editor gráfico bidimensional con escalamiento y rotación. Los iconos pueden definirse ya sea vectorialmente o con pixeles. La característica de mapa de bits de los iconos permite una velocidad rápida de la animación durante las corridas de simulación.
5. Se permite la importación de dibujos de CAD, así como informaciones y programas de operación del proceso. Pueden generarse los reportes de salida y archivos en hojas de cálculo, definidos por el usuario.

6. Los elementos estáticos y dinámicos de la animación se desarrollan mientras se define el modelo, de forma integrada.
7. Sólo se requiere de hardware estándar, sin necesidad de tarjetas, monitores o circuitos coprocesadores especiales.
8. Proporciona la posibilidad de construcción preprogramada. Esto permite una modelación rápida de recursos de procesamiento múltiples, compartidos o móviles, así como de tiempos de falla y turnos de trabajo.
9. Se dispone de un paquete estadístico avanzado (*Stat::Fit*).
10. Se proporciona la capacidad de corridas de simulación de escenarios múltiples (*SimRunner*), facilitando el diseño de experimentos.

#### **3.1.4. Etapas en un modelo de simulación**

La simulación puede utilizarse en situaciones como las siguientes:

- estudio y experimentación sobre las interacciones entre elementos de un sistema
- detección de las variables relevantes y de sus interacciones
- experimentación con nuevos diseños
- comprobación de soluciones analíticas.

La Figura 3.1 muestra un conjunto de etapas para guiar la construcción de un modelo de simulación de manera exhaustiva.

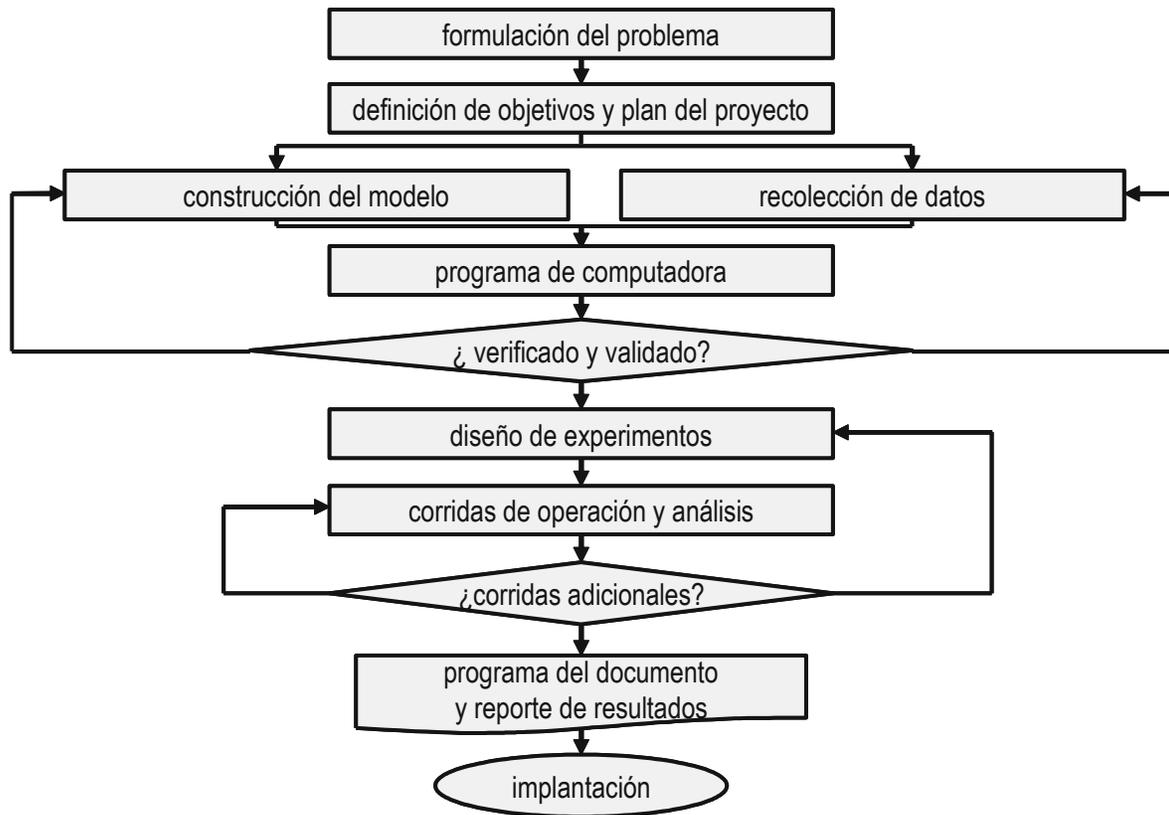


Figura 3.1. Diagrama de flujo del proceso general de simulación.  
Fuente: Banks (2001).

### 3.1.5. La simulación aplicada a la manufactura

Los sistemas de manufactura y de manejo de materiales representan una de las aplicaciones de la simulación más importantes. La simulación ha sido aplicada exitosamente como un apoyo para el diseño de instalaciones nuevas de producción, de almacenamiento y de distribución. También ha sido utilizada para la evaluación de las propuestas de mejora de instalaciones existentes. En todo caso, la simulación ha sido de utilidad al proporcionar un medio de comprobación preliminar, antes de llevar a cabo las modificaciones en el sistema real representado (Rohrer, 1998) (Ulgen y Gunal, 1998).

Para reflejar toda su utilidad, sin perder la identificación de las áreas de problema reales, las simulaciones de sistemas de producción, al igual que con todo tipo de modelos, requieren ajustarse al nivel de detalle apropiado. La guía para ubicarse en el nivel correcto de detalle está en los objetivos del estudio y las preguntas que se desea responder. El nivel de detalle está

restringido por la disponibilidad de datos de entrada y por el conocimiento de las interacciones entre los elementos. Para sistemas nuevos, la disponibilidad de datos puede ser limitada y el conocimiento sobre el sistema puede basarse en suposiciones.

### **3.1.6. Medidas de desempeño**

El propósito de la simulación está en proporcionar una visión integral y no sólo las tablas de resultados. Al adquirir un paquete de simulación, el beneficio buscado radica en la comprensión del sistema por crear o por modificar, por lo que se plantea dar respuesta a preguntas como la respuesta del sistema en momentos críticos, la respuesta ante cambios súbitos, la acumulación de partes, la sensibilidad a cambios en los recursos, la capacidad del sistema, o las condiciones por las cuales el sistema se satura. (Evans y Alexander, 2007)

Mientras que la simulación va a proporcionar medidas numéricas del desempeño, su mayor beneficio se ubica en la visión de conjunto y en la comprensión que resultan de la operación del sistema. La visualización a través de la animación y de los resultados gráficos proporciona un apoyo importante en la comunicación de las hipótesis del modelo, la operación del sistema y sus resultados. Con frecuencia, esta visualización es la mayor contribución a la validación del modelo, que lleva hacia la aceptación de los resultados numéricos del mismo. Es claro que un diseño de experimentos apropiado, que incluya los rangos de condiciones experimentales y el análisis riguroso, es de gran importancia para producir las conclusiones correctas de los resultados de la simulación (Guasch, 2005).

Las metas principales de los modelos de simulación de sistemas de producción se refieren a identificar las áreas de problemas y a cuantificar el desempeño del sistema. Las medidas más comunes del desempeño del sistema son las siguientes:

- Tasa de producción con carga promedio y con carga máxima
- Tasa de utilización de los recursos, la mano de obra y las máquinas
- Cuellos de botella
- Líneas de espera ante cada estación de trabajo

- Líneas de espera y retrasos en los sistemas de manejo de materiales
- Necesidades de almacenamiento del trabajo en proceso
- Requerimientos de personal
- Eficiencia de los sistemas de programación de operaciones
- Eficiencia de los sistemas de control de operaciones

Con frecuencia, el manejo de materiales es una parte importante del sistema de producción y del desempeño de éste. El manejo de materiales en los sistemas de servicio incluyen los almacenes, los centros de distribución, las operaciones de embarque. Las metas principales de estos sistemas de manejo de materiales no manufactureros son similares a los de la producción, con las adiciones siguientes:

- Efecto de cambios en las políticas de prioridad
- Líneas de espera y retrasos de los vehículos
- Eficiencia de los sistemas de manejo de materiales bajo carga máxima
- Tiempo de recuperación tras una perturbación

La simulación muestra la particularidad de permitir el estudio de situaciones difíciles de generar en los sistemas reales. La modelación apegada a las condiciones del sistema es alcanzable a través de la simulación, al representar fielmente tiempos de paro y fallas en los recursos de producción. Este dominio de estudio ha generado un gran interés, en el cual interviene fuertemente las aplicaciones de la estadística.

### **3.2. EL MODELO PROPUESTO PARA EL PROCESO INDUSTRIAL ACTUAL**

A continuación se describe el software de simulación por computadora ProModel que es el empleado en este proyecto. Se seleccionó en particular éste debido a que ofrece una versión estudiantil accesible a quien inicia en el manejo de estas herramientas y por tener un soporte profesional muy sólido (García Dunna *et al.*, 2008).

A raíz de la descripción previa del proceso de interés en la línea de pintura de carros de ferrocarril, el modelo en ProModel divide a los elementos en localidades, entidades, recursos, proceso y llegadas. Con esta clasificación, se hace la descripción del modelo para la simulación.

Es necesario tomar en cuenta que, dado que se trabaja con una versión estudiantil del software, la representación de los elementos se efectuó de manera agregada.

### **3.2.1. Localidades**

Se han establecido las siguientes localidades:

- Almacén de materia prima (1N), cuya capacidad es de 50 unidades
- Estación o proceso 1, es el primer proceso productivo y es de capacidad múltiple, su tiempo se detalla en el apartado de procesos
- Almacén 2N, aquí se encuentran los productos que van directamente al proceso 2 y su capacidad es de 50 unidades
- Estación o proceso 2, aquí se realiza la última operación del proceso, es de capacidad unitaria y el producto puede tener tres destinos, almacén A, almacén 2R o bien puede ir al almacén 1R, su tiempo se detalla en el apartado de procesos
- Almacén A, aquí se encuentran los productos que no fueron rechazados en el proceso 2, es decir, productos buenos, para ser entregados al cliente, tiene una capacidad de 50 unidades
- Almacén 2R, aquí hay productos con daños ligeros y que son fáciles de corregir, además de que se pueden incorporar al proceso 2 y tiene una capacidad de 50 unidades
- Almacén 1R, aquí llegan productos con daños mayores y que no pueden ser incorporados al proceso 2, por lo que se dispone de este almacén para que vuelvan a ser reincorporados nuevamente al proceso 1, tiene una capacidad de 50 unidades.

### 3.2.2. Entidades

Se consideran las siguientes entidades, que son los materiales que circulan en el sistema:

- materia prima, es el vagón del carro de ferrocarril que se dispone para aplicarle la primera capa de pintura.
- materia 2, es el vagón del carro de ferrocarril listo para entrar al proceso 2
- producto aprobado
- producto recuperable
- producto rechazado

### 3.2.3. Operarios

Denominados como recursos dentro de ProModel, se dispone de cinco operarios. De ellos existen dos clases, para fines de distinguir en el sistema al tiempo normal del tiempo extra. Por esta razón, de lunes a viernes se utilizan preferentemente los operarios LAV. En complemento, los sábados y domingos, la preferencia recae sobre los operarios SD.

### 3.2.4. Procesos

La materia prima llega al almacén 1N para posteriormente pasar al proceso 1, una vez estando ahí, se le llama a un operario del tipo LAV, el proceso está sometido a variaciones aleatorias. Estos se reflejan en el tiempo de proceso a través de su desviación estándar y suponiendo que su valor promedio se mantiene. En la programación del modelo, por lo tanto, se asigna el valor de 240 al promedio y se deja abierta la desviación estándar para experimentar con diferentes valores. Una vez realizada la operación pasa al almacén 2N como materia 2, una vez estando ahí pasa al proceso 2 el proceso está sometido a variaciones aleatorias. Estos se reflejan en el tiempo de proceso a través de su desviación estándar y suponiendo que su valor promedio se mantiene. En la programación del modelo, por lo tanto, se asigna el valor de 60 al promedio y se deja abierta la desviación estándar para experimentar con diferentes valores.

Una vez ya terminado el proceso 2 pueden tener 3 productos diferentes, que es producto aprobado que va al almacén A con una probabilidad del 60% , producto recuperable que es enviado al almacén 2R con una probabilidad del 28% y por último, producto rechazado que se dirige al almacén 1R con una probabilidad del 12%.

Ahora bien, una vez estando el producto aprobado en el almacén A, éste va hacia un almacén para ser embarcados hacia su destino final.

En el caso del producto recuperable nuevamente es dirigido al proceso 2, pero con la condición de que estos van a ser retrabajados en los días sábado y domingo por operarios del tipo SD con tiempos de proceso igual que cuando ingresaron al sistema, estos a su vez pueden tener tres destinos, ya que nuevamente pueden ser producto aprobado, producto recuperable o bien producto rechazado, con la misma probabilidad que cuando entraron al sistema.

Para el caso del producto rechazado estando en el almacén 1R es enviado nuevamente al proceso 1, aquí se llama a operarios que de igual manera que el producto recuperable va hacer re trabajados por operarios del tipo SD con un tiempo de proceso igual al anterior.

### **3.2.5. Llegadas**

Los ingresos de materia prima al sistema desde el exterior se representan como las llegadas. En este caso, conforme a un plan de entregas, que se explica a continuación:

- materia prima, se recibe en la localidad “almacén 1N”, con capacidad de 50 unidades.

### **3.2.6. Variables**

Como se observa en el anexo A dentro del código del modelo y bajo el título *Variables (global)* se enlistan todas las variables definidas por el usuario que fueron requeridas en el modelo del sistema.

Para ilustrar la pantalla resultante en ProModel con el modelo desarrollado, se presenta la Figura 3.2.

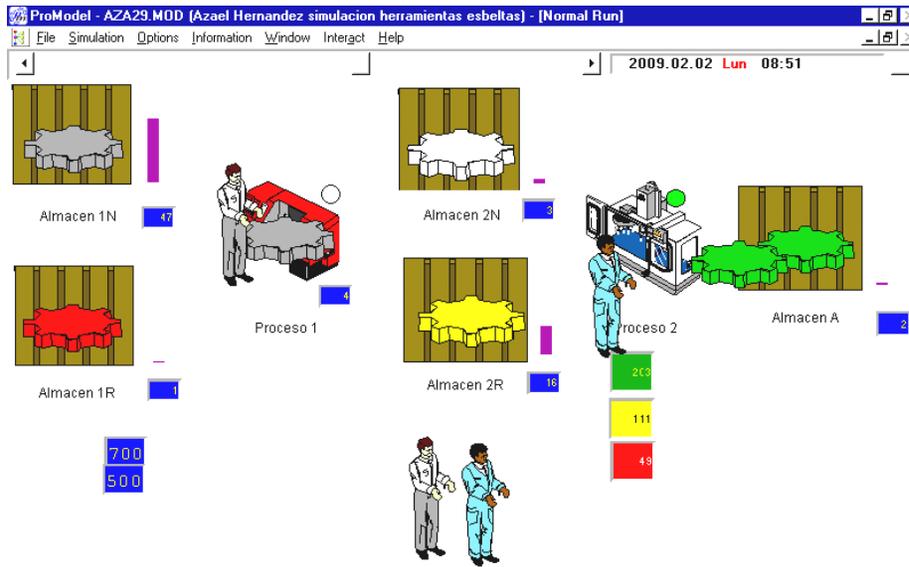


Figura 3.2. Representación en ProModel del sistema analizado.

### 3.2.7. Desempeño del sistema

Con las ideas sustentadas por la Manufactura Esbelta, de reducir los desperdicios, se elige, como manera de evaluar el desempeño del sistema para cada una de las sugerencias de modificación y hacer las comparaciones entre ellas, una medida de cumplimiento en tiempo, otra de calidad y otra de disponibilidad del equipo.

Se busca que las corridas de simulación y los correspondientes informes de resultados del ProModel faciliten la adquisición de los valores para los tres resultados indicados. De igual manera es muy conveniente integrar a los tres indicadores en uno solo. Esto lleva a establecer recorridos de estas variables entre cero y uno, con lo que individualmente e integradamente se logra esta condición, al hacer al indicador global igual al producto de los tres anteriores.

Para representar a estos cuatro indicadores, se definen entre las *Variables* del modelo, a *calif\_1*, *calif\_2*, *calif\_3* y *calif*, para cumplir con las condiciones planteadas.

La variable *calif\_1* se emplea para la disponibilidad del equipo, medida en el Proceso 2. Se obtiene dividiendo el tiempo indisponibilidad de la localidad entre el tiempo de la

simulación y restando el resultado de uno. Para el caso de un equipo con pocas fallas, su indisponibilidad tenderá a cero y su complemento tenderá a uno, como se desea.

En lo referente a *calif\_2*, al tiempo esperado de entrega de la producción se le compara con el tiempo real y en caso de sobrepaso se ajusta un indicador proporcionalmente. Una entrega a tiempo representa un uno y los retrasos subsecuentes se ajustan en una recta que llega a cero después de una semana de retraso. Las entregas anticipadas se toman igualmente con el valor de 1.

Por su parte, *calif\_3* se obtiene del cociente de productos correctos, sobre la suma de productos correctos, retrabajados y rechazados. No se requiere mayor ajuste al indicador, ya que una producción sin fallas genera un uno y tiende a cero conforme crece el número de productos fallidos.

Finalmente, como se mencionó, el indicador de desempeño global *calif*, es obtenido con el producto directo de los tres anteriores:

$$Calif = calif_1 \times calif_2 \times calif_3.$$

### **3.3. AJUSTES DE LOS PARÁMETROS CORRESPONDIENTES A LAS HERRAMIENTAS SELECCIONADAS**

Como parte del desarrollo del modelo de simulación en ProModel se prevé la asignación a diferentes parámetros del proceso, en vez de un valor numérico determinado, una variable propia. La razón de hacerlo así es facilitar el cambio en su valor para los experimentos con el modelo.

#### **3.3.1. Parámetros para simular Jidoka y Poka-Yoke**

En lo que corresponde a las herramientas Jidoka y Poka-Yoke, los porcentajes de piezas buenas, recuperables y rechazadas se varían para generar menos fallas en el sistema, justamente en el proceso 2 (Dentro del modelo, se han definido variables para llevar el conteo

de las tres cantidades, con las designaciones, respectivamente, de *producido*, *fallido1* y *fallido2*). Los porcentajes iniciales del proceso son de 60, 28, 12, respectivamente.

Tomando como referencia el modelo de ProModel desarrollado, se eligen los nuevos porcentajes para el proceso capaces de mostrar una mejoría bajo la filosofía esbelta, y que para este caso es de 90, 9, 1 respectivamente. Industriales con experiencia en este proceso opinan que es un valor alcanzable.

### 3.3.2. Parámetros para simular TPM

Para el caso del mantenimiento productivo total, ProModel cuenta con las variables para el tiempo entre las apariciones de las fallas MTBF (*Mean Time Between Failures*) y el tiempo de reparación MTTR (*Mean Time To Repair*), que permiten asignar valores para planear el mantenimiento de las máquinas cada vez que sea necesario, así como la mejora del tiempo de la reparación. Los valores iniciales son, para el MTBF, de 500 minutos y, para el MTTR, de 120 minutos.

Para que se tenga un mejor desempeño en el sistema se decidió aumentar el MTBF a 1500 minutos y reducir el MTTR a 60 minutos. Todo esto se hace en el apartado de *Variables (Global)* de ProModel, tomando en cuenta que se puede encargar la reparación al mismo personal con que se cuenta.

### 3.3.3. Parámetros para simular Soikufu

Tomando en cuenta el concepto de Soikufu, que supone la implantación de sistemas de sugerencias individuales y de grupos reducidos, en el tiempo de fabricación en el proceso<sup>2</sup> se tiene una reducción de la aleatoriedad. Esto se refleja manteniendo la media del parámetro de 60 minutos y a la desviación estándar asociándole un parámetro (designado *sigma*) inicial de 6 minutos.

Es posible suponer que la mayor disposición del personal hacia el proceso se refleja en una menor variabilidad del tiempo de proceso, entonces se ajusta el nuevo valor de sigma reduciéndolo hasta 2 minutos.

#### **3.3.4. Parámetros para simular Shojinka**

Partiendo de la definición general de Shojinka, de mejorar la flexibilidad en el número de trabajadores de una determinada línea y su distribución física para adaptarse a los cambios de la demanda, y teniendo en cuenta el parámetro inicial *dist*, que aplica con el comando MOVE FOR, que representa el trayecto de las piezas entre cada almacén y estación de trabajo, es representado en el modelo por la variable *movim* con un valor inicial de 30.

Es posible hacer una mejora en la distribución de planta, lo cual dará como resultado una reducción en las velocidades de traslado de las piezas entre cada localización, teniendo un nuevo valor la variable *movim* de 20 y así satisfacer la demanda de piezas entre cada estación de trabajo.

#### **3.3.5. Parámetros para simular SMED**

En lo que corresponde al tiempo de preparación, es el valor que toma, antes del proceso, cargar un producto diferente al que se trabajó por última vez. Este valor es denominado *prep* en la definición de variables del modelo y lleva asignado el valor inicial de 25 minutos.

Al llegar el caso de un experimento en el que se simula que el sistema aplica SMED, el valor del parámetro mencionado debe cambiar para significar un sistema modificado. El cambio que se aplica en este caso es la modificación de *prep* al nuevo valor, en este caso de 9 minutos.

Para sintetizar los parámetros seleccionados como posibles modificaciones al sistema con base en herramientas esbeltas, se presenta la Tabla 3.1. Se indica, para cada una de las cinco modificaciones, la herramienta a la que corresponde, el parámetro o parámetros que mejor reflejan el principio esbelto, el valor inicial del parámetro y el valor propuesto.

TABLA 3.1. PARÁMETROS PARA LAS MODIFICACIONES AL SISTEMA.

Herramienta esbelta por simular	Parámetro que representa a la herramienta	Valor inicial (-)	Valor nuevo (+)
Jidoka y Poka Yoke	Inspección en proceso 2	60, 28, 12	90, 9, 1
TPM	MTBF	500	1500
	MTTR	120	60
Soikufu	sigma de N(240, 24)	24	8
	sigma de N(60, 6)	6	2
Shojinka	dist: Tiempo de MOVE FOR	30	20
SMED	prep dentro del DT por setup	25	9

## **CAPÍTULO 4.**

# **CORRIDAS DE SIMULACIÓN DEL MODELO DE MANUFACTURA ESBELTA Y RESULTADOS**

En esta parte del trabajo se reseña la ejecución de las simulaciones planteadas, para lo cual se presentan el diseño de experimentos, las corridas y los resultados obtenidos, junto con su interpretación, mediante la que se ponen de manifiesto las modificaciones al sistema productivo que son factibles de aplicar y que lo vuelven más esbelto.

### ***4.1. DISEÑO DE EXPERIMENTOS***

Con la finalidad de conocer el cambio producido en el desempeño del sistema con la modificación de los parámetros del modelo de simulación, descritos en el capítulo anterior, se requiere llevar a cabo las corridas de simulación.

Puesto que es de interés obtener el comportamiento de todos los cambios propuestos, en este caso es necesario tomar en cuenta tanto el valor inicial, como el valor modificado para cada uno de los cinco factores bajo experimentación. Para lograrlo, de acuerdo con la teoría del diseño de experimentos (Gutiérrez y de la Vara, 2004), es conveniente realizar el experimento factorial completo que, con cinco factores y dos niveles alcanza 32 modificaciones en combinatoria. Al contar con el simulador, realizar lo anterior es completamente factible.

Para tener la representatividad correcta de las simulaciones, lo procedente es estimar un número de muestra de acuerdo con el nivel de confianza deseado. Para este caso, con las facilidades otorgadas por ProModel se eleva a 500 réplicas por experimento el número de las que se realizarán, por cada uno de los 32 experimentos. Con este número se asegura estar por arriba de un nivel de confianza del 95%.

Para cada uno de los experimentos de simulación, a fin de tener suficiente representatividad estadística, se realizan corridas de simulación con duración en cada caso de 216 horas cada una, equivalentes a 9 días.

#### **4.2. SELECCIÓN DE LAS CORRIDAS**

Para proceder a la utilización del modelo del sistema de manufactura en ProModel, se establece, como guía para la designación de los 32 experimentos, la planeación de las corridas que se señala en la Tabla 4.1. En ella se indica con un signo menos (–) el caso del factor que se utiliza con el valor inicial y con un signo más (+) el caso en que se asienta, dentro de la programación del modelo, el valor mejorado del parámetro.

De esta manera, los cinco factores, junto con los dos niveles que adquiere cada uno, dan como resultado  $2^5$  experimentos, lo que es igual a 32. Éstas son todas las combinaciones posibles de nivel (–) o nivel (+). Los factores, como se mencionó, son: SMED, Shojinka, Soikufu, Total Productive Maintenance y Jidoka con Poka-Yoke.

Para identificar el experimento de que se trata en cada caso, se le asocia un número consecutivo y se identifican con símbolos – y + las columnas los valores considerados de los cinco factores, como se muestra en la tabla mencionada.

Partiendo de la lógica de inicialización en ProModel, que se ubica en *General Information* se encuentra un apartado de *Initialization Logic*. En esta ventana es donde se definen los valores programados de inicio de la corrida de simulación, o *prompt*, que para el modelo son *MTBF*, que es el tiempo entre fallas, *MTTR*, el tiempo de reparación, los traslados que es representado por un *movim*, las preparaciones es un *prep* y, por último, las variaciones del proceso, que son representadas por *sigma*.

TABLA 4.1. PLANEACIÓN DE LAS CORRIDAS DE SIMULACIÓN

Experi- mento	SMED	Shojinka	Soikufu	TPM	Jidoka
01	-	-	-	-	-
02	+	-	-	-	-
03	-	+	-	-	-
04	+	+	-	-	-
05	-	-	+	-	-
06	+	-	+	-	-
07	-	+	+	-	-
08	+	+	+	-	-
09	-	-	-	+	-
10	+	-	-	+	-
11	-	+	-	+	-
12	+	+	-	+	-
13	-	-	+	+	-
14	+	-	+	+	-
15	-	+	+	+	-
16	+	+	+	+	-
17	-	-	-	-	+
18	+	-	-	-	+
19	-	+	-	-	+
20	+	+	-	-	+
21	-	-	+	-	+
22	+	-	+	-	+
23	-	+	+	-	+
24	+	+	+	-	+
25	-	-	-	+	+
26	+	-	-	+	+
27	-	+	-	+	+
28	+	+	-	+	+
29	-	-	+	+	+
30	+	-	+	+	+
31	-	+	+	+	+
32	+	+	+	+	+

Todos los valores que se le asignarán a cada una de estas variables, quedan entonces como parámetros, con lo que se facilita la asignación del valor en cada experimento, indicados por el usuario.

### **4.3. RESULTADOS OBTENIDOS**

Por cada uno de los experimentos se realizaron 500 réplicas en la simulación, como se mencionó, a fin de lograr una mayor representatividad.

Tal y como lo señala el capítulo 3, se utilizan tres variables para medir el desempeño del sistema, utilizadas para reportar los resultados, que se ilustran en la Tabla 4.2. Así, *calif\_1* es una medida de cumplimiento en tiempo, *calif\_2* mide la calidad de la producción (artículos correctos producidos, contra el total producido) y *calif\_3* que mide el cumplimiento en las entregas. Los índices se combinan en uno sólo resultante del producto que es representado en el sistema por *calif*, todos ellos con un rango de 0 a 1.

**TABLA 4.2. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN**

Experi- mento	<i>calif_1</i>	<i>calif_2</i>	<i>calif_3</i>	<i>Calif.</i> (media)	Desv. Est.
01	0.8291	0.8972	0.6083	0.4615	0.1284
02	0.8277	0.9077	0.6076	0.4641	0.1193
03	0.8445	0.9814	0.6065	0.5054	0.0730
04	0.8453	0.9817	0.6080	0.5066	0.0766
05	0.8276	0.9010	0.6064	0.4604	0.1231
06	0.8275	0.8945	0.6066	0.4584	0.1317
07	0.8461	0.9826	0.6100	0.5101	0.0762
08	0.8453	0.9780	0.6067	0.5047	0.0781
09	0.9776	0.9983	0.6092	0.5949	0.0560
10	0.9776	0.9983	0.6092	0.5949	0.0581
11	0.9800	1.0000	0.6084	0.5964	0.0514
12	0.9801	0.9996	0.6070	0.5949	0.0518
13	0.9773	0.9991	0.6068	0.5928	0.0558
14	0.9774	0.9989	0.6091	0.5949	0.0556
15	0.9797	1.0000	0.6053	0.5932	0.0537
16	0.9800	1.0000	0.6064	0.5944	0.0536
17	0.8931	1.0000	0.9013	0.8052	0.0414
18	0.8935	1.0000	0.9018	0.8060	0.0434
19	0.9041	1.0000	0.9038	0.8174	0.0427
20	0.9041	1.0000	0.9014	0.8152	0.0407
21	0.8928	1.0000	0.9022	0.8057	0.0416
22	0.8940	1.0000	0.9038	0.8083	0.0422
23	0.9039	1.0000	0.9007	0.8145	0.0413
24	0.9047	1.0000	0.9035	0.8176	0.0410
25	0.9861	1.0000	0.9013	0.8889	0.0395
26	0.9862	1.0000	0.9072	0.8947	0.0394
27	0.9868	1.0000	0.9015	0.8896	0.0392
28	0.9867	1.0000	0.9036	0.8917	0.0391
29	0.9868	1.0000	0.9015	0.8896	0.0392
30	0.9861	1.0000	0.9024	0.8896	0.0390
31	0.9865	1.0000	0.9031	0.8910	0.0403
32	0.9865	1.0000	0.9019	0.8898	0.0382

Es interesante mencionar que a partir de los nuevos valores que se implanta a Jidoka y Poka-Yoke se ven mejores resultados en el desempeño del sistema, tal y como se observa a

partir del experimento número 17 se tienen los mejores valores de toda la simulación. Partiendo de esto, el experimento número 26 es el que tiene un mejor acercamiento a los índices evaluados.

Una vez obtenidos los resultados de cada experimento es interesante notar el número 26, ya que es el que tiene el mejor desempeño de toda la simulación. En este experimento cabe mencionar que sólo se aplicaron cambios a tres de cinco de los parámetros a simular, los cuales fueron: Jidoka y Poka-Yoke con valor iniciales de 60%, 28% y 12%, para tener los nuevos valores de 90%, 9% y 1% respectivamente; el mantenimiento productivo total tenía valores iniciales de 500 minutos para el MTBF y de 120 minutos para el MTTR, lo que con los nuevos valores cambiaron a 1500 minutos y 60 minutos respectivamente; y por último, el SMED tenía un valor inicial de 25 minutos para finalmente reducirlo a 9 minutos.

En este experimento se comprueba que aplicando adecuadamente las herramientas esbeltas es posible mejorar considerablemente la producción en todo el sistema como lo muestra la Tabla 4.1.

Por otra parte, es necesario mencionar al experimento número 32, al que se hicieron los cinco cambios en los parámetros y aún así no resultó ser el de mayor puntuación como podría esperarse al realizar las cinco modificaciones.

De igual manera, es interesante citar que el experimento con el nivel más bajo resultó ser el número 6, aún con las mejoras que se le asignaron, que fueron en SMED, con un valor inicial de 25 minutos, para dejarlo con un nuevo valor de 9 minutos, tal como lo dice el concepto de esta herramienta y, por otra parte, Soikufu que tenía un valor inicial de 24 minutos, con desviación de 6, hasta reducirlo a 8 y 2 minutos, respectivamente, contra lo que sería de esperarse en comparación con el experimento número 1, que no tuvo cambios en los valores.

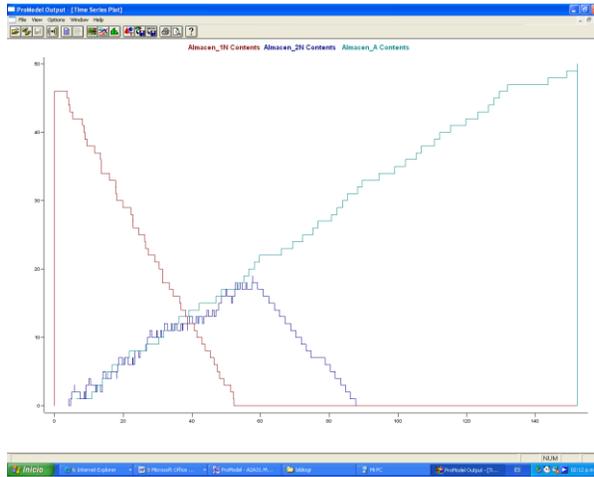
En general, se observa que hay una tendencia de mejora cada vez que se le asigna un nuevo valor a cada una de las herramientas esbeltas, pero como lo muestra el experimento número 6 no siempre los cambios resultan benéficos para el sistema. De cualquier manera,

haciendo las combinaciones pertinentes, se puede llegar al resultado que se piensa obtener, ya que con las herramientas esbeltas se permite hacer mejorías en todo el sistema.

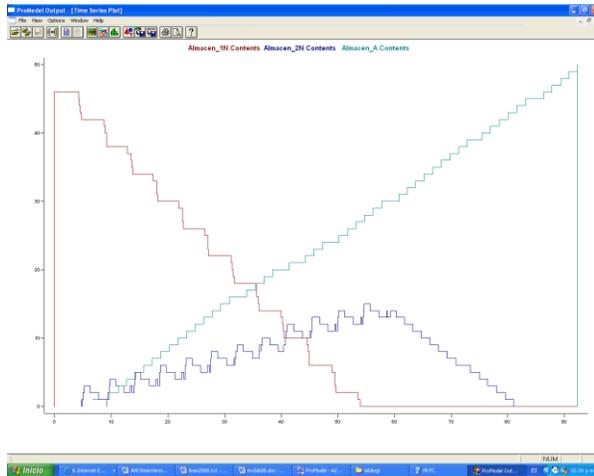
Otro de los recursos de ProModel son las gráficas de resultados. Con éstas es muy visible el cambio para cada experimento. Para ilustrar uno de los puntos de volver esbelto al proceso, se eligen los niveles de inventario en la entrada, en el almacén intermedio para productos correctos y el almacén de salida de productos correctos. La Figura 4.1 (a) muestra estos niveles para el experimento inicial. Por lo tanto, el almacén de entrada, inicialmente lleno, es el que muestra contenido decreciente, el intermedio muestra un aumento seguido de una disminución y el de salida muestra un comportamiento creciente.

El nivel máximo del almacén intermedio ahora puede compararse con los niveles alcanzados para el caso del experimento 20, en el que se mejoraron los parámetros correspondientes a Shojinka y SMED, ilustrado en la Figura 4.1 (b). De manera análoga, es observable el cambio en el mismo resultado cuando los parámetros que se modifican son Soikufu y TPM, que es el experimento 29 y que corresponde a la Figura 4.1 (c).

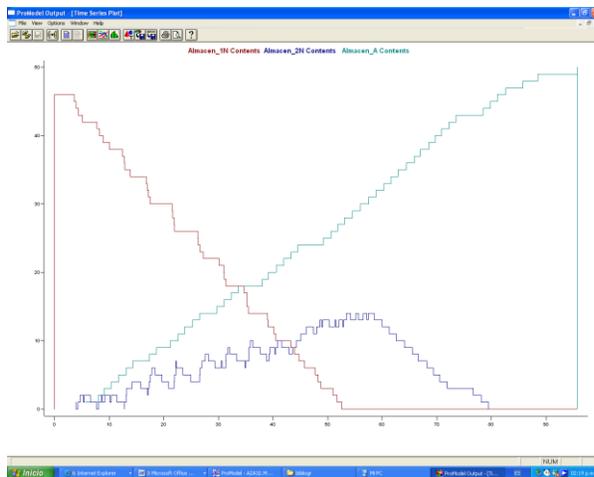
Para la comparación de tres casos de disponibilidad del recurso, se puede hacer uso de la graficación circular de porcentajes en ProModel. Se ejemplifica con los estados del Proceso 2, al mostrar los tres principales estados, que son el de operación, el de desocupación y el de falla. Así, la Figura 4.2 (a) es la gráfica correspondiente al sistema inicial o experimento 1. Repitiendo las condiciones de los experimentos 20 y 29 anteriormente descritos, es evidente la mejora relativa al observarse las gráficas de las Figuras 4.2 (b) y (c).



(a) Caso del experimento 1

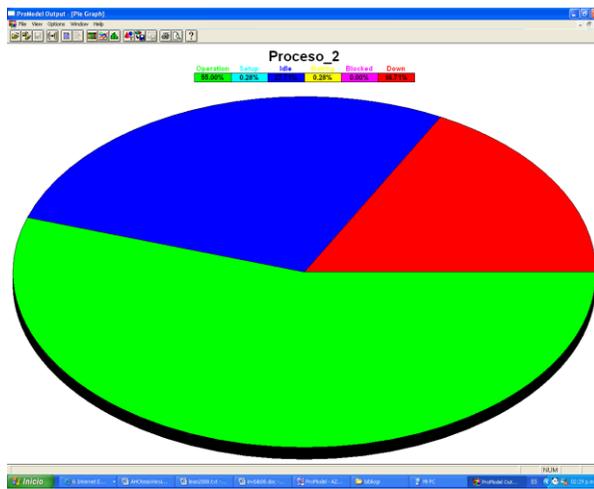


(b) Caso del experimento 20

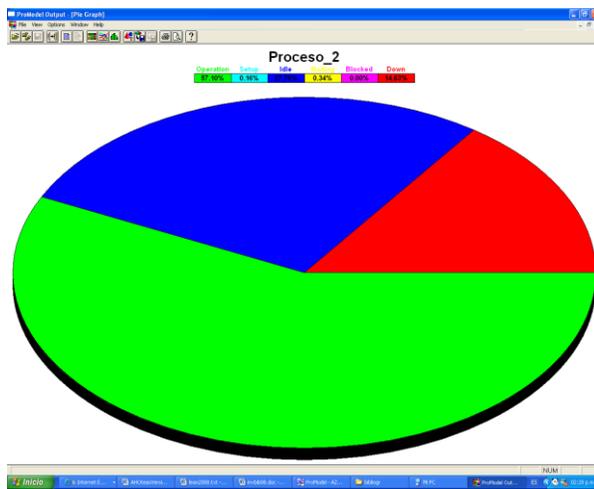


(c) Caso del experimento 29

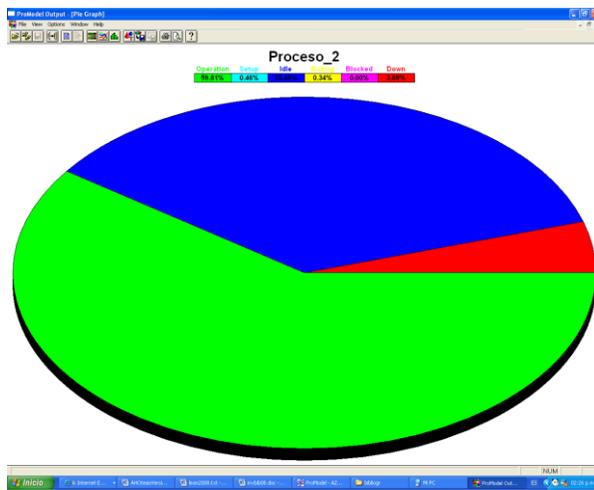
Figura 4.1. Comparación entre niveles de inventario para tres experimentos.



(a) Caso del experimento 1



(b) Caso del experimento 20



(c) Caso del experimento 29

Figura 4.2. Comparación entre diagramas de estados del Proceso 2 para tres experimentos.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

La investigación realizada ha permitido incursionar tanto en el dominio de la Manufactura Esbelta como en el de la simulación, con resultados muy satisfactorios al observarse tanto las ventajas de evaluar numéricamente las mejoras en el desempeño por cada herramienta considerada y conocer el potencial del software de simulación.

La revisión de documentación sobre el pensamiento esbelto permitió ubicar este paradigma de administración de la producción con relación a otros, como la producción en masa o la teoría de las restricciones. También facilitó la estructura, la definición y las características de la gran variedad de herramientas que constituyen la Manufactura Esbelta.

Para evaluar las bondades de la Manufactura Esbelta, se analizó un caso típico de proceso de fabricación, particularmente de material ferroviario en el Estado de Hidalgo, que consistió en una descripción sintética de los procesos, aunada a un diagnóstico, con el cual se afirmó el supuesto de que es con las herramientas esbeltas que se puede orientar su solución, al combatir las causas que generan desperdicios. Es de notar que los principales problemas están en la proporción alta de productos para retrabajo o rechazados, el inadecuado

mantenimiento y los inventarios causados por desbalanceo en las etapas y grandes tiempos de preparación.

La conjunción de los temas anteriores fue posible con el desarrollo del modelo de simulación en el software ProModel, para representar los parámetros del proceso, conjuntamente con el acceso a la modificación de los mismos con la guía de las herramientas esbeltas. En consecuencia se llevaron a cabo las modificaciones al modelo en cada alternativa, el diseño de experimentos, las corridas de simulación y la obtención de resultados, todo ello de manera satisfactoria.

Una de las contribuciones de este trabajo de investigación es la evidencia de las ventajas de la herramienta de simulación en favor de tomar decisiones en un sistema de manufactura, al facilitar el análisis, por la comprensión de las interacciones entre numerosas variables y su consecuencia sobre un desempeño buscado.

Es innegable que la simulación de las herramientas de la Manufactura Esbelta conlleva a varios beneficios. El ahorro de tiempo es uno de los principales de ellos, pues la simulación es más rápida y no es necesario invertir grandes cantidades de dinero, al contar con un software de simulación.

El haber realizado esta investigación por otros métodos diferentes a la simulación se hubiera requerido mucho dinero, esfuerzo y, sobre todo, tiempo. Por el contrario, con la ayuda de un software de simulación se facilita todo el análisis del sistema, además de que servirá para hacer los cambios pertinentes en el instante que se pretenda.

Se observa que con el manejo de paquetes de simulación se justifica en los casos industriales por entregar mejores resultados que los métodos de cálculo simples, además de expresar de mejor manera la complejidad de los sistemas y facilitar su evaluación numérica, haciendo menos monótono el proceso de análisis, y de permitir expandir o reducir el tiempo, dando una visión muy clara de los procesos y sus interacciones. Particularmente, el software ProModel resultó ser relativamente fácil en su comprensión y manejo en la versión estudiantil utilizada, constituyéndose en una herramienta muy ventajosa para la evaluación de sistemas de manufactura.

Por otra parte, se pudo observar que la aplicación de alguna herramienta de la Manufactura Esbelta no siempre va a conseguir los mejores resultados, ya que no mejora la cantidad de productos buenos, sino todo lo contrario. En estos casos es conveniente instaurar esa herramienta, por lo menos en las condiciones establecidas en el diseño del experimento, ya que si se desea aplicar tendrán que cambiarse o combinarse con otras variables del sistema. Por otro lado, existen herramientas de la Manufactura Esbelta cuya aplicación se ve reflejada inmediatamente después de hechos los cambios en las variables, ya que se ve reflejado en el incremento de la producción de artículos buenos.

Adicionalmente al diseño de experimentos completo que se realizó para cinco factores y dos niveles, se sugiere llevar a cabo comparativamente la aplicación de otros métodos, como los de diseños factoriales con 2, 3 ó más niveles, diseños factoriales fraccionados y diseños de superficies de respuesta, con la finalidad de caracterizar mejor el comportamiento del sistema de manufactura estudiado y los efectos sobre las medidas de desempeño.

Cabe hacer mención que con este trabajo se ha contribuido a una investigación doctoral en curso, cuya finalidad es profundizar en el análisis de los sistemas de Manufactura Esbelta y mejorar su aplicación, para lo cual el modelo actual ha servido para comprobar la factibilidad de interconectar herramientas esbeltas, factores del sistema de manufactura, programación del simulador ProModel en los comandos correspondientes y la experimentación con el software.

Es conveniente subrayar que, si bien el uso de los simuladores actuales genera comportamientos de alta similitud con el de los sistemas reales, persiste un grado de representatividad que hace que no sea idéntico el modelo al sistema real. Este hecho debe ser tomado en cuenta en el momento de la implantación de las soluciones, para evitar soluciones incorrectas. Particularmente en el caso de factores imponderables o de los derivados de la actuación del ser humano, es de esperar que difieran en una cierta medida los resultados. No obstante, el grado de representatividad de los simuladores permite aclarar un gran número de fenómenos en los flujos de producción, que si son dejados únicamente a la explicación teórica, no permiten captar su extensión.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, M., P. COMONANTON, H. CZARNECKI y B. J. SCHROER (1999). "Simulation as a Tool for Continuous Process Improvement", en *Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference*, P. A. FARRINGTON, H. B. NEMBARD, D. T. STURROCK y G. W. EVANS (editores), pp. 766-773. (Artículo consultado en línea el 8 diciembre 2008). <http://www.informs-sim.org/wsc99papers/110.PDF>
- ALUKAL, G. y A. MANOS (2008). *Kaizen Esbelto*, Panorama Editorial, México.
- BANKS, J., J. S. CARSON II, B. L. NELSON y D. M. NICOL (2001). *Discrete-Event System Simulation*, 3a edición, Prentice-Hall, Upper Saddle River NJ.
- BATEMAN, R. E., R. G. BOWDEN, T. J. GOOG, C. R. HARRELL y J. R. A. MOTT (1997). *System Improvement Using Simulation*, 5a. edición, ProModel Corporation, Orem UT.
- CHASE, R. B. y N. J. AQUILANO (1995). *Dirección y Administración de la Producción y de las Operaciones*, 6a. edición, McGraw-Hill, México.
- DEMING, W. E. (1994). *Cómo Administrar con el Método Deming*, Norma, Barcelona.
- DOMÍNGUEZ MACHUCA, J. A., S. GARCÍA GONZÁLEZ, M. A. DOMÍNGUEZ MACHUCA, A. RUIZ JIMÉNEZ y M. J. ÁLVAREZ GIL (1995). *Dirección de Operaciones: Aspectos Tácticos y Operativos en la Producción y los Servicios*, McGraw-Hill, Madrid.
- EVANS, G. W. y S. M. ALEXANDER (2007). "Using Multi-Criteria Modeling and Simulation to Achieve Lean Goals", en *Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference*, S. G. HENDERSON, B. BILLER, M.-H. HSIEH, J. SHORTLE, J. D. TEW y R. R. BARTON (editores), pp. 1615-1623. (Artículo consultado en línea el 4 marzo 2009). <http://www.informs-cs.org/wsc07papers/200.pdf>

- FOGARTY, D. W., J. H. BLACKSTONE JR. y T. R. HOFFMANN (1994). *Administración de la Producción e Inventarios*, CECSA, México.
- GARCÍA DUNNA, E., H. GARCÍA REYES y L. E. CÁRDENAS BARRÓN (2006). *Simulación y Análisis de Sistemas con ProModel*, Pearson Prentice-Hall, México
- GOLDRATT, E. M. y J. COX (1998). *La Meta: Un Proceso de Mejora Continua*, 7a. edición, Castillo, Monterrey.
- GUASCH, A. (2005). *Modelado y Simulación: Aplicación a Procesos Logísticos de Fabricación y Servicios*, Alfaomega, México.
- GUTIÉRREZ PULIDO, H. y R. DE LA VARA SALAZAR (2004). *Análisis y Diseño de Experimentos*, McGraw-Hill, México.
- HARRELL, CH. R. (2007). “Simulation and the Lean Enterprise” (Documento Word consultado en línea en septiembre 2007). <http://www.promodel.com/challenge/lean.asp>
- JUÁREZ LÓPEZ, Y., J. ROJAS RAMÍREZ, J. H. LOZADA ARMENDÁRIZ y M. ÁLVAREZ SUÁREZ (2008). “Oportunidades de Aplicación de la Manufactura Esbelta a la Industria Nacional de Ensamble”, en *5o. Congreso Internacional de Ingeniería Electro-mecánica y de Sistemas* (México, D. F., noviembre 2008), pp. 1016-1021, IPN.
- LOZADA ARMENDÁRIZ, J. H. y J. ROJAS RAMÍREZ (2008). “Simulación de la Mejora del Desempeño Industrial mediante la Producción Esbelta”, en *Congreso del XIII Verano de la Investigación Científica del Pacífico* (Programa DELFÍN, Mazatlán, Sin., agosto de 2008).
- MENESES GONZÁLEZ, H. (1976). “Balanceo de Línea Propuesto para el Departamento de Montaje Metálico, Metro, de la Constructora Nacional de Carros de Ferrocarril”, Tesis de Licenciatura en Ingeniería Industrial, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- MONDEN, Y. (1990). *El Sistema de Producción de Toyota*, Ediciones Macchi, Buenos Aires.
- PÉREZ PEREYRA, F. (2008). “Análisis de una Línea de Ensamble de Camiones y Simulación de Alternativas de Mejora”, Tesis de Licenciatura en Ingeniería Industrial, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- PRICE, R. N. y CH. R. HARRELL (1999). “Simulation Modeling and Optimization Using ProModel”, en *Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference*, P. A. FARRINGTON, H. B. NEMBARD, D. T. STURROCK y G. W. EVANS (eds.), pp. 208-214. (Artículo consultado en línea en marzo de 2007). <http://www.informs-cs.org/wsc99papers/027.pdf>
- PROMODEL (1998). *ProModel User's Guide*, versión 4.1, ProModel Corporation, Orem UT.
- PROMODEL (2008). “Justificando la Simulación”. (Documento consultado en línea en febrero 2007). [http://www.promodel.com.mx/downloads/Justificando\\_la\\_Simulacion.pdf](http://www.promodel.com.mx/downloads/Justificando_la_Simulacion.pdf)
- ROHRER, M. W. (1998). “Simulation of Manufacturing and Material Handling Systems”, en *Handbook of Simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications and Practice*, J. Banks (editor), Wiley, Nueva York, pp. 519-545.

- ROTHER, M. y J. SHOOK (1999). *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda*, Lean Enterprise Institute, Cambridge, MA.
- SCHMELKES, C. (1998). *Manual para la Presentación de Anteproyectos e Informes de Investigación (Tesis)*, Segunda edición, Oxford University, México.
- SCHONBERGER, R. J. (1996). *Técnicas Japonesas de Fabricación*, Limusa Noriega, México.
- SERRANO LASA, I. (2007). “Análisis de la Aplicabilidad de la Técnica <Value Stream Mapping> en el Rediseño de Sistemas Productivos”, Tesis Doctoral, Universitat de Girona. (Documento consultado en línea en abril de 2008) <http://www.tesisenxarxa.net/TDX-0713107-141005/index.html>
- SIPPER, D. y R. L. BULFIN JR. (1998). *Planeación y Control de la Producción*, McGraw-Hill, México.
- STANDRIDGE, C. R. y J. H. MARVEL (2006). “Why Lean Needs Simulation”, en *Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference*, L. F. PERRONE, F. P. WIELAND, J. LIU, B. G. LAWSON, D. M. NICOL y R. M. FUJIMOTO (editores), pp. 1907-1913. (Artículo consultado en línea en marzo 2009). <http://www.informs-cs.org/wsc06papers/244.pdf>
- SUZAKI, K. (1993). *Competitividad en Fabricación: Técnicas para la Mejora Continua*, Tercera edición, TGP Hoshin, Madrid.
- ULGEN, O. y A. GUNAL (1998). “Simulation in the Automobile Industry”, en *Handbook of Simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications and Practice*, J. Banks (editor), Wiley, Nueva York, pp. 547-570.
- VAN DER ZEE, D.-J. y J. SLOMP (2005). “Simulation and Gaming as a Support Tool for Lean Manufacturing Systems: A Case Example from Industry”, en *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference*, M. E. KUHL, N. M. STEIGER, F. B. ARMSTRONG y J. A. JOINES (editores), pp. 2304-2313. (Artículo consultado en línea el 22 marzo 2007). <http://www.informs-cs.org/wsc05papers/298.pdf>
- WOMACK, J. P., D. T. JONES y D. ROSS (1991). *The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production*, Harper Perennial, Nueva York.
- WOMACK, J. P. y D. T. JONES (2003). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in your Corporation*, Free Press, Nueva York.

## ANEXO A:

# CÓDIGO DEL MODELO DE SIMULACIÓN

Se presenta en este Anexo, en la terminología de ProModel, el código del modelo de simulación, en su estado inicial, del sistema industrial con el que se experimentan las modificaciones representativas de herramientas de la Manufactura Esbelta.

```
*****
*
*                               Formatted Listing of Model:          *
*                               C:\...\AZA31.MOD                       *
*                               *                                      *
*                               *                                      *
*****

Time Units:                      Minutes
Distance Units:                  Meters
Initialization Logic:           # PROMPT"Tiempo_entre_fallas",MTBF
                                # PROMPT"Tiempo_de_reparacion",MTTR
                                # PROMPT"Traslados",movim
                                # PROMPT"Preparaciones",prep
                                # PROMPT"Variaciones de proceso",sigma

Termination Logic:              tasa = indisponible / 13150
                                calif_1 = 1-tasa
                                calif_2 = 1 - 0.02 * entrega
                                calif_3 = producido /( producido + fallido1 + fallido2)
                                calif = calif_1 * calif_2 * calif_3
```

```

*****
*                               Locations                               *
*****

Name      Cap Units Stats      Rules      Cost
-----
Almacen_1N 50  1      Time Series Oldest, ,
Almacen_1R 50  1      Time Series Oldest, ,
Proceso_1   4   1      Time Series Oldest, ,
Almacen_2N 50  1      Time Series Oldest, ,
Almacen_2R 50  1      Time Series Oldest, ,
Proceso_2   1   1      Time Series Oldest, ,
Almacen_A  50  1      Time Series Oldest, ,

*****
*                               Clock downtimes for Locations         *
*****

Loc      Frequency      First Time      Priority      Scheduled Disable Logic
-----
Proceso_1 N(MTBF*4,100) N(MTBF*4,100) 700          No          No          GET SD
                                                WAIT MTTR*4
                                                FREE SD
Proceso_2 N(MTBF,100)   N(MTBF,100)   700          No          No          GET SD
                                                rep=N(MTTR,10)
                                                WAIT rep
                                                FREE SD

indisponible=indisponible + rep

*****
*                               Setup downtimes for Locations         *
*****

Loc      Entity      Prior Entity      Logic
-----
Proceso_2 Materia_2  Producto_Recuperable GET LAV
                                                WAIT prep
                                                FREE LAV
                Producto_Recuperable Materia_2          GET SD
                                                WAIT prep
                                                FREE SD

*****
*                               Entities                               *
*****

Name      Speed (mpm) Stats      Cost
-----
Materia_prima      50      Time Series
Producto_aprobado  50      Time Series
Producto_Rechazado 50      Time Series
Producto_Recuperable 50      Time Series
Materia_2          50      Time Series

*****

```

```

*
*          Path Networks          *
*          *          *          *
Name      Type      T/S          From      To      BI      Dist/Time  Speed Factor
-----
Net1      Passing   Speed & Distance N2       N3       Bi      52.42      1
              N4       N2       Bi      74.14      1
*
*          Interfaces          *
*          *          *          *
Net       Node      Location
-----
Net1     N3         Proceso_2
        N4         Proceso_1
*
*          Resources          *
*          *          *          *
Name      Units  Stats      Res      Ent
-----
LAV       5      By Unit   Closest Oldest Net1
              Home: N2
              (Return)      Empty: 150 mpm
              Full: 150 mpm

SD        5      By Unit   Closest Oldest Net1
              Home: N2
              (Return)      Empty: 150 mpm
              Full: 150 mpm
*
*          Processing          *
*          *          *          *
*
*          Process          Routing
*
Entity      Location  Operation      Blk  Output      Destination
Rule      Move Logic
-----
Materia_prima      Almacen_1N
Proceso_1,PRIOR_L FIRST 1      MOVE FOR movim
Materia_prima      Proceso_1      GET LAV
                  WAIT N(240, sigma*4)
                  FREE LAV
FIRST 1      MOVE FOR movim
Materia_2      Almacen_2N
Proceso_2,PRIOR_L FIRST 1      MOVE FOR movim
Materia_2      Proceso_2      IF CALDAY(=)1 THEN
                  BEGIN
                  PRIOR_L=700
                  PRIOR_S=500
                  END
                  IF CALDAY(=)6 THEN
                  BEGIN
                  PRIOR_L=500
                  PRIOR_S=700
                  END
                  GET LAV
                  WAIT N (60, sigma)
                  FREE LAV
0.600000 1      INC producido
1      Producto_aprobado      Almacen_A
    
```

```

MOVE FOR movim
0.280000    INC fallido1
                                                    Producto_Recuperable Almacen_2R

MOVE FOR movim
0.120000    INC fallido2
                                                    Producto_Rechazado   Almacen_1R

MOVE FOR movim
Producto_aprobado   Almacen_A  ACCUM 50
                                IF CLOCK(HR)-168 > 0
                                THEN entrega = CLOCK(HR)-168
                                ELSE entrega = 0
                                1   Producto_aprobado   EXIT

FIRST 1    MOVE FOR movim
Producto_Recuperable Almacen_2R
Proceso_2,PRIOR_S FIRST 1    MOVE FOR movim
Producto_Recuperable Proceso_2 IF CALDAY( )=1 THEN
                                BEGIN
                                    PRIOR_L=700
                                    PRIOR_S=500
                                END
                                IF CALDAY( )=6 THEN
                                    BEGIN
                                        PRIOR_L=500
                                        PRIOR_S=700
                                    END
                                GET SD
                                WAIT N (60, sigma)
                                FREE SD
                                1   Producto_aprobado   Almacen_A

0.600000 1  INC producido

MOVE FOR movim
0.280000    INC fallido1
                                                    Producto_Recuperable Almacen_2R

MOVE FOR movim
0.120000    INC fallido2
                                                    Producto_Rechazado   Almacen_1R

MOVE FOR movim
Producto_Rechazado   Almacen_1R
Proceso_1,PRIOR_S FIRST 1    MOVE FOR movim
Producto_Rechazado   Proceso_1 GET SD
                                WAIT N(240, sigma*4)
                                FREE SD
                                1   Producto_Recuperable Almacen_2R

FIRST 1    MOVE FOR movim

```

\*\*\*\*\*  
 \* Arrivals \*  
 \*\*\*\*\*

Entity	Location	Qty each	First Time	Occurrences	Frequency	Logic
Materia_prima	Almacen_1N	50	0	1	10080	

```

*****
*                               Variables (global)                               *
*****

```

ID	Type	Initial value	Stats
MTBF	Real	500	Time Series
MTTR	Real	120	Time Series
producido	Integer	0	Time Series
fallido1	Integer	0	Time Series
fallido2	Integer	0	Time Series
PRIOR_L	Integer	700	Time Series
PRIOR_S	Integer	500	Time Series
prep	Real	25	Time Series
movim	Real	30	Time Series
sigma	Real	6	Time Series
entrega	Real	50	Time Series
rep	Real	0	Time Series
tasa	Real	0	Time Series
indisponible	Real	0	Time Series
calif_1	Real	1	Time Series
calif_2	Real	1	Time Series
calif_3	Real	1	Time Series
calif	Real	1	Time Series

```

*****
*                               Table Functions                               *
*****

```

ID	Independent Value	Dependent Value
Fun1		

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

Célula (o celda) flexible: Uno de los mejores arreglos de máquinas, manejo de materiales y mano de obra para fabricar un producto o familia de productos, que tiene procesos, geometrías u operaciones similares.

Cinco eses: Conjunto de actividades de ordenamiento, limpieza y seguridad, propuestas frecuentemente como requisito para lograr una mejora continua y son: clasificar (seiri), ordenar (seiton), limpiar (seiso), estandarizar (seiketsu) y disciplinar (shitsuke)

Fabricación por lotes: El enfoque tradicional de fabricación de productos en exceso, cantidades económicamente lógicas, que suponen permanecer activos produciendo a su capacidad alta. Normalmente justificada por ingenieros como la mejor forma de amortizar los tiempos que las máquinas no están trabajando sobre una gran población de partes. Este enfoque construye demoras dentro del proceso. No puede mover piezas al próximo proceso hasta que todas han sido procesadas. Entre más grande es el lote, más grande resultan el espacio de las piezas y la demora entre procesos.

Flexibilidad: Se utiliza en producción para resaltar la facultad de abarcar una gran variedad de productos sin dificultad.

Flujo de producción: Uno de los elementos de la producción Justo a Tiempo, es definido como el movimiento de productos e información de un paso que agrega valor a otro continuamente. También se le conoce como flujo pieza a pieza.

**Inspección:** Acción de comparar un producto o componente o servicio contra especificaciones, para determinar si satisfacen los requerimientos. En la filosofía Manufactura Esbelta, “inspección innecesaria es Muda” los diseños de procesos y métodos deberían ser creados de tal manera que permitan que la inspección y la corrección se completen como otro paso en una operación de fabricación. La mentalidad básica es que la detección de un defecto, después de que ha ocurrido, es inaceptable.

**Inventario:** Muchos operadores y gerentes, todos frecuentemente tienen el concepto erróneo de que los inventarios consisten y son vistos como “el dinero que el negocio ha invertido en comprar las cosas que ellos intentan vender para obtener una utilidad”. La administración exitosa del inventario requiere mirar al inventario en cada uno de los estados de la transformación. Existen de materia prima, de artes y productos semiterminado o de producto terminado.

**Jidoka:** Control de la calidad en la fuente, que se refiere a que el trabajador se convierta en su propio inspector, en vez de utilizar inspectores al final de la línea para encontrar problemas que alguien más pudo crear.

**Justo a Tiempo:** (Ver Manufactura Esbelta).

**Kaizen:** Es un sistema de mejora continua e integral que comprende todos los elementos, componentes, procesos, actividades, productos e individuos de una organización, orientado a mejorar siempre los efectos de más eficiente uso de los escasos recursos y satisfacer la mayor cantidad de objetivos posibles.

**Mantenimiento Productivo Total** (en inglés *Total Productive Maintenance*, o *TPM*): Es un enfoque de mantenimiento que optimiza la eficiencia del equipo, elimina las paradas de las máquinas, reduce las pequeñas fallas y promueve el mantenimiento autónomo del operador, involucrando a toda la plantilla. Se fundamenta en la búsqueda permanente de la mejora de los rendimientos de los procesos y los medios de producción, por una implicación concreta y diaria de todas las personas que participan en el proceso productivo.

**Mantenimiento Productivo Total (TPM):** Programa de mantenimiento a equipo en toda la empresa, que abarca el ciclo de vida completo y requiere de la participación de todos los trabajadores.

**Manufactura Esbelta:** Es una filosofía de aplicación de varias herramientas de ayuda a la eliminación de las operaciones que no agregan valor al producto o al proceso, aumentando el valor de la actividad realizada y eliminando lo que no se requiere. Ha sido definida como una filosofía de excelencia de manufactura, basada en: la eliminación planeada de todo tipo de desperdicio, el respeto por el trabajador y la mejora consistente de productividad y calidad. También es una designación en el mundo occidental de lo que significa la filosofía *Justo a Tiempo* en el Japón.

- Poka-Yoke:** Dispositivos a prueba de errores, o sea, cualquier mecanismo que ayuda a prevenir los errores antes de que sucedan, o los hace muy obvios para que el trabajador se dé cuenta y los corrija a tiempo.
- Polivalencia:** En cuanto a la fuerza de trabajo flexible, significa variar el número de trabajadores para ajustarse a los cambios de demanda. Cuando menos, los empleados deben conocer la operación anterior y la posterior a la que están realizando y ser capaces y estar dispuestos a ejecutar diferentes tipos de actividades en otras áreas de la empresa.
- Productividad:** Capacidad o grado de producción por unidad de trabajo, superficie de tierra cultivada o equipo industrial. En sistemas de manufactura, es una medida de efectividad, en cuanto al número de productos entregados por unidad de recurso.
- Reducción de las preparaciones (SMED):** Son conceptos y técnicas que pretenden reducir los tiempos de preparación hasta poderlos expresar en minutos utilizando un solo dígito, o sea, no llegar a 10.
- Shojinka:** Se define como la flexibilidad en el número de trabajadores en una determinada línea para adaptarse a los cambios de demanda, manteniendo o aumentando así su productividad.
- Sistema de manufactura flexible (en inglés *Flexible Manufacturing System*, o *FMS*):** sistema bajo control automático, capaz de fabricar con eficiencia una variedad de productos dentro de una gama determinada, invirtiendo tiempos cortos en las preparaciones para pasar de un tipo de producto a otro.
- Soikufu:** Son grupos de mejora en la empresa que, con la participación de los trabajadores, recolecta y aprovecha las ideas y sugerencias de estos para mejorar la productividad.
- Tiempos de preparación:** la preparación de una máquina se manifiesta en el tiempo que toma el conjunto de operaciones por realizar para proceder al cambio de producto, entre la última pieza producida del lote previo y la primera pieza producida del siguiente lote, en tiempo y con calidad. La aplicación de sistemas de preparaciones rápidas es obligada en empresas que fabriquen series cortas y con gran diversidad de productos, como lo recomienda la Manufactura Esbelta.